การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยกระบวนการดูดซับในชั้นตรึง

Improvement of Oil Palm Mill Effluent by Adsorption in Fixed Bed Process

จินตนา แก้วบริสุทธิ์

Jintana Kaewborisut

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Environmental Management

Prince of Songkla University

2541

เลขหมู่ TD793.5 ค17 2541 ฉ.2

Bib Key 156145

ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยกระบวนการดูดซับในชั้นตรึง

ผู้เขียน นางสาวจินตนา แก้วบริสุทธิ์

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการที่ปรึกษา	คณะกรรมการสอบ
..............................ประธานกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)	..............................ประธานกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)
..............................กรรมการ (ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)	..............................กรรมการ (ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)
	..............................กรรมการ (ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์)
	..............................กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ อรัญนารถ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ก้าน จันทร์พรหมมา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยกระบวนการดูดซับในชั้นตรึง
ผู้เขียน	นางสาวจินตนา แก้วบริสุทธิ์
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2541

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาการกำจัดสีและซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้ได้เลือกถ่านกัมมันต์ที่ผลิตเชิงพานิชย์ 2 ชนิดจาก 6 ชนิด เพื่อใช้ในการศึกษา โดยพิจารณาจากความสามารถในการดูดซับจากไอโซเธิร์มการดูดซับและราคาของถ่านกัมมันต์ ซึ่งถ่านกัมมันต์ 2 ชนิดดังกล่าวเป็นถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าวและทำจากไม้โกงกาง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับที่ระดับพีเอช 6 7 8 และ 9.5 (พีเอชของน้ำทิ้ง) พบว่าถ่านกัมมันต์สามารถในการดูดซับซีโอดีในตัวอย่างน้ำทิ้งได้ดีที่ระดับพีเอชต่ำ แต่เนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีความเป็นด่างอยู่ในเกณฑ์สูง อย่างไรก็ตามจะเป็นการสะดวกและประหยัดกว่าหากดำเนินการดูดซับที่ระดับพีเอชของน้ำทิ้ง เนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีความเป็นด่างอยู่ในเกณฑ์สูง

ในการทดลองผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางพื้นที่หน้าตัด 7 เซนติเมตร สูง 187 เซนติเมตร ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 4 8 และ 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอัตราน้ำล้นผิวลง และยังพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากไม้โกงกางสามารถดูดซับซีโอดีและสีได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าว แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาแพงดังนั้นจึงทดลองนำถ่านกัมมันต์ที่ทำจากไม้โกงกางซึ่งผ่านการใช้งานแล้วมาฟื้นสภาพโดยการเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าเมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพมีประสิทธิภาพในการดูดซับซีโอดีมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน และภายหลังการฟื้นสภาพ 10 ครั้งพบว่าถ่านกัมมันต์มีแนวโน้มที่จะสามารถดูดซับสีจะซีโอดีได้ดีขึ้น

การศึกษาครั้งนี้ได้ทดลองนำถ่านไม้สำหรับหุงต้มและถ่านกะลาปาล์ม มาใช้เป็นสารดูดซับด้วยเช่นกันแต่ถ่านที่ไม่ผ่านการกระตุ้นดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการดูดซับต่ำ และเมื่อทำการทดลองใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอนพบว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการลดซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมากกว่าสารส้ม

Thesis Title	Improvement of Oil Palm Mill Effluent by Adsorption Process in Fixed Bed
Author	Miss Jintana Kaewborisut
Major Program	Environmental Management
Academic Year	1998

Abtract

The selection of GAC used in this experiment was based on cost effective and adsorption capacity. The adsorption isotherm, for determinating adsorption capacity, of 6 commercial GAC was investingated and it was found that wood and coconut shell based were the most preferable. The study of adsorption capacity at various pH 6 7 8 and 9.5 (effluent pH) show that the COD adsorption capacity was high at low pH. However it more convenient and economic to perform the adsorption at pH of palm oil mill effluent since it contain high alkalinity.

In dynamic test, the palm oil mill effluent was pass through carbon column of diameter 7 cm height 187 cm with overflow velocity 2 4 8 and 16 cm^3/cm^2/min. It was found that adsorption efficiency increase when overflow velocity decrease and it was also found that wood based GAC adsorbed COD and color better than coconut shell based GAC. Because of wood based GAC was costy we then regenerated it at 650 °C. It was observed that regenerated GAC reduced COD of palm oil mill effluent at overflow velocity of 2 cm^3/cm^2/min. greater than the fresh one. After 10 times of regeneration it seemed that the adsorption efficiency increased.

In this study, hard wood charcoal and palm oil shell charcoal were also used as an adsorbent but the adsorption efficiency was very low. When alum was used as a coagulant, it was found that activated cabon reduced COD in oil palm mill effluent more effectively than alum.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่อง จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์คือ ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ อรัญนารถ ที่กรุณาสละเวลาเพื่อการสอบ ให้ข้อเสนอแนะตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่อง ซึ่งช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนสำหรับการวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าของกิจการและบุคลากรของโรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างน้ำเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคณะการจัดการสิ่งแวดล้อมและขอขอบใจเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ของคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่กรุณาอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ วัสดุ และอุปกรณ์ในการวิจัย

ขอบคุณเพื่อนและพี่หลายๆ คน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณพ่อ-แม่ ขอบใจน้องๆ ที่เป็นกำลังใจตลอดมา

จินตนา แก้วบริสุทธิ์

สารบาญ

หน้า

บทคัดย่อ....(3)

Abstract....(5)

กิตติกรรมประกาศ....(6)

สารบาญ....(7)

รายการตาราง ....(9)

รายการภาพประกอบ....(12)

รายการตารางภาคผนวก....(17)

รายการภาพประกอบภาคผนวก ....(18)

ตัวย่อ และสัญลักษณ์....(19)

บทที่

1. บทนำ....1

    บทนำต้นเรื่อง....1

    ตรวจเอกสาร....4

    วัตถุประสงค์....29

    ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ....29

    ขอบเขตการวิจัย....29

2. วิธีดำเนินการวิจัย....31

    วัสดุ 31

    อุปกรณ์....31

    วิธีดำเนินการวิจัย....35

3. ผลและวิจารณ์ผล....44

    การวิเคราะห์สมบัติของน้ำทิ้ง จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
    ที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ....44

    การหาความสามารถในการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงาน
    สกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากบริษัทผู้ผลิตรายต่างๆ....51

สารบาญ (ต่อ)

หน้า

การศึกษาการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ที่ระดับพีเอชต่างๆ ของตัวอย่างถ่านกัมมันต์....58

การหาค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่าน....68

การประเมินคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์....73

การนำถ่านจากกะลาปาล์มและถ่านสำหรับหุงต้ม มาใช้ ดูดซับซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม....90

การใช้ถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพเป็นสารดูดซับมลสาร ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม....94

การใช้ถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพหลายๆครั้ง เป็นสารดูดซับ มลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม....103

การออกแบบระบบดูดซับในชั้นตรึงสำหรับดูดซับสีและซีโอดี ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม....112

การใช้สารตกตะกอนเพื่อลดซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงาน สกัดน้ำมันปาล์ม....115

4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ....118

สรุป....118

ข้อเสนอแนะ....120

5. บรรณานุกรม....121

7. ภาคผนวก....130

ภาคผนวก ก 131

ภาคผนวก ข 150

ภาคผนวก ค 161

ภาคผนวก ง 186

ภาคผนวก จ 226

8. ประวัติผู้เขียน....239

รายการตาราง

ตาราง หน้า

1. สมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มก่อนและหลังการบำบัด....3
2. สมบัติของน้ำทิ้งจากขั้นตอนต่างๆในการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มและน้ำในบ่อรวมน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม....7
3. หน่วยบำบัดน้ำเสียจากชุมชนที่ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับมลสาร....18
4. หน่วยบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับมลสาร....19
5. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้แช่เม็ดถ่านให้อิ่มตัวด้วยน้ำ....28
6. วิธีวิเคราะห์สมบัติของตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ....35
7. ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านชั้นถ่านที่ระดับตามสูงต่างๆของชั้นถ่าน....38
8. วิธีการวิเคราะห์สมบัติน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มก่อนและหลังการดูดซับด้วยถ่าน....40
9. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งโรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด....44
10. สมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด ก่อนและหลังกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ....47
11. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า k และ 1/n จากการหาไอโซเทิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ 6 ตัวอย่าง เป็นสารดูดซับ....55
12. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า X/m จากการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ถ่านกัมมันต์ 6 ตัวอย่าง....57

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

13. ราคาของตัวอย่างถ่านกัมมันต์....58
14. แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า k และ 1/n จากการหาไอโซเทิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อควบคุมพีเอชระหว่างการดูดซับไว้ที่ 6, 7, 8 และ 9.5....59
15. แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า X/m จากการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อควบคุมพีเอชระหว่างการดูดซับไว้ที่ 6, 7, 8 และ 9.5....65
16. ปริมาณและมูลค่ากรดเข้มข้น 94% ที่ใช้ในการปรับลดพีเอชน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 1 ลูกบาศก์เมตร....67
17. แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่าน เมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* และ ถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ....69
18. ผลการคำนวณเวลาที่ใช้ในการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่และสารโมเลกุลเล็กจนกระทั่งถึงจุดสมดุลการดูดซับ....70
19. แสดงระยะเวลาใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์ลึก 180 เซนติเมตร ปริมาตรน้ำที่บำบัดได้และมูลค่าถ่านกัมมันต์สำหรับดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร....73
20. แสดงค่าซีโอดีและค่าสีในน้ำที่เข้าและออกจากชั้นถ่านกะลาปาล์มเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที....91
21. แสดงค่าซีโอดีและค่าสีในน้ำที่เข้าและออกจากชั้นถ่านสำหรับหุงต้มเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที....92

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

22. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าคงที่ ที่ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่าน เมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ถ่านกัมมันต์ *(E)* และ ถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพ ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที....96
23. แสดงโมลาสเสสนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพโดยใช้เตาเผาอินฟราเรด....97
24. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของซีโอดีและค่าสีในน้ำที่ออกจากระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์....105
25. ความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ภายหลังการฟื้นสภาพ....111
26 พื้นที่หน้าตัด เส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูง ตลอดจนระยะเวลาใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์ ตั้งแต่ 2-9 ชั้น ที่เรียงตัวกันในแนวขนาน....114
27. แสดงค่าสีและซีโอดีที่คงเหลือในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งเติมสารส้มที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ....116

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ หน้า

1. แผนภูมิแสดงกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม.....5
2. ระบบบำบัดแบบไร้อากาศและกึ่งไร้อากาศของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.....9
3. ถ่านก่อนการกระตุ้นและหลังการกระตุ้นเพื่อให้เป็นถ่านกัมมันต์.....11
4. แผนภูมิแสดงกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์.....13
5. กลไกการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์.....15
6. multiple-heart furnace.....23
7. กราฟเบรคทรู.....26
8. รายละเอียดแบบจำลองระบบดูดซับสำหรับหาค่าคงที่ของระบบดูดซับในชั้นตรึง.....33
9. รายละเอียดแบบจำลองที่ใช้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับซีโอดีและสีของถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพมากกว่า 1 ครั้ง.....34
10. แบบจำลองระบบดูดซับที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ.....37
11. แบบจำลองที่ใช้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับซีโอดีและสีของถ่านกัมมันต์ ที่ถูกฟื้นสภาพมากกว่า 1 ครั้ง.....42
12. แสดงน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดที่ 9 และ น้ำทิ้งจากบ่อบำบัดที่ 14b ของโรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างเมื่อ 8 ต.ค. 2539.....46
13. แสดงน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดที่ 9 และ น้ำทิ้งจากบ่อบำบัดที่ 14b ของโรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างเมื่อ 11 เม.ย. 2540.....46
14. กระบวนการเกิดสารในกลุ่มฮิวมิค.....48
15. แบบจำลองโครงสร้างโมเลกุลของกรดฮิวมิค.....49
16. ไอโซเธิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ถ่านกัมมันต์ 6 ตัวอย่าง (ซ้ำที่ 1).....52

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

17. ไอโซเธิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 6 ตัวอย่าง (ซ้ำที่ 2)....53
18. น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งมีค่าซีโอดีประมาณ 120 มิลลิกรัม/ลิตร....56
19. ไอโซเธิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ที่ระดับพีเอชต่างๆโดยใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 1)....60
20. ไอโซเธิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ที่ระดับพีเอชต่างๆโดยใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 2)....61
21. ไอโซเธิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ที่ระดับพีเอชต่างๆโดยใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 1)....62
22. ไอโซเธิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ที่ระดับพีเอชต่างๆโดยใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 2)....63
23. แสดงการเปลี่ยนแปลงพีเอชของตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัด น้ำมันปาล์มที่ถูกทิเทรตด้วยกรดซัลฟุริก 0.107 นอร์มัล....67
24. ร้อยละของความเป็นด่างที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงาน สกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ....76
25. ร้อยละของของแข็งแขวนลอยที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงาน สกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ....77
26. ร้อยละของของแข็งละลายได้ที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงาน สกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ....78
27. ร้อยละของบีโอดีที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมัน ปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ....80
28. ร้อยละของซีโอดีที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมัน ปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ....81

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

29. ร้อยละของเจลดาห์ลไนโตรเจนที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ........................84
30. ร้อยละของแอมโมเนียไนโตรเจนที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ........................85
31. ร้อยละของค่าสีที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ..86
32. แสดงน้ำที่ผ่านออกจากชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ที่ช่วงเวลา 90-180 นาที, 180-270 นาที, 270-360 นาที, 360-450 นาที, 450-540 นาที, 540-630 นาที, 630-720 นาที และน้ำเข้าระบบ (เรียงจากซ้ายไปขวา) เมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิว2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที..87
33. แสดงน้ำที่ผ่านออกจากชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ช่วงเวลา 90-180 นาที, 180-270 นาที, 270-360 นาที, 360-450 นาที, 450-540 นาที, 540-630 นาที, 630-720 นาที, 720-810 นาที, 810-900 นาที, และน้ำเข้าระบบ (เรียงจากซ้ายไปขวา) เมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที........................87
34. ร้อยละของสารริดิวซ์โฟลินส์ฟีนอลที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ...................................89
35. แสดงน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านกะลาปาล์มในช่วงเวลา 90-120 นาที, 120-150 นาที, 150-180 นาที, 180-210 นาที และ น้ำเข้าระบบ (เรียงจากซ้ายไปขวา)..91
36. แสดงน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านสำหรับหุงต้มในช่วงเวลา 90-135นาที, 135- 180 นาที, 180-225 นาที, 225-270 นาที และ น้ำเข้าระบบ(เรียงจาก ซ้ายไปขวา)..92

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

37. แสดงร้อยละของซีโอดีที่คงเหลือในน้ำที่ผ่านออกจากชั้นถ่านกะลาปาล์มและ ถ่านสำหรับหุงต้ม.....93
38. แสดงร้อยละของค่าสีที่คงเหลือในน้ำที่ผ่านออกจากชั้นถ่านกะลาปาล์มและถ่านสำหรับหุงต้ม.....94
39. ร้อยละของความเป็นด่างที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที.....98
40. ร้อยละของของแข็งละลายได้ที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที.....99
41. ร้อยละของของแข็งแขวนลอยที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที.....99
42. ร้อยละของบีโอดีที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที.....100
43. ร้อยละของซีโอดีที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที.....100
44. ร้อยละของเจลดาห์ลไนโตรเจนที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที.....101
45. ร้อยละของแอมโมเนียไนโตรเจนที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที.....101
46. ร้อยละของค่าสีที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที.....102

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

47. ร้อยละของสารริดิวซ์โฟลินฟีนอลที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที....102
48. แสดงน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพที่ช่วงเวลา90-180 นาที, 180-270 นาที, 270-360 นาที, 360-450 นาที, 450-540 นาที, 540-630 นาที, 630-720 นาที 720-810 นาที , 810-900 นาที, 900-1000 นาที, 1000-1100 นาที และน้ำเข้าระบบ (เรียงจากซ้ายไปขวา) เมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที....103
49. ซีโอดีที่คงเหลือในน้ำที่ออกจากระบบ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน และผ่านการฟื้นสภาพ....108
50. ค่าสีที่คงเหลือในน้ำที่ออกจากระบบ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน และผ่านการฟื้นสภาพ....109
51. ภาพขยายพื้นผิวภายนอกของเม็ดถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน....110
52. ภาพขยายพื้นผิวภายนอกของเม็ดถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานและฟื้นสภาพโดยการเผาที่อุณหภูมิสูงมาแล้ว 10 ครั้ง....110
53. ระบบดูดซับแบบชั้นตรึงเดี่ยว ชั้นตรึงขนาน และชั้นตรึงแบบขนาน - อนุกรม....113
54. การใช้สารส้มตกตะกอนมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในอัตราส่วน 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัม/ลิตร (เรียงจากซ้ายไปขวา)....116
55. ค่าสีและซีโอดีทิ่งเหลือเมื่อใช้สารส้มความเข้มข้นต่างๆตกตะกอนมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม....117

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวก หน้า

ก1 การเตรียมสารละลายสีมาตรฐาน ความเข้มข้น 1-500 หน่วยสี.....145

ค1 ซีโอดีที่คงเหลือในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ภายหลังการดูดซับแบบเทที่ละคราว (batch adsorption) โดยใช้ถ่านกัมมันต์6 ตัวอย่าง เป็นสารดูดซับ.....162

ค2 ซีโอดีที่คงเหลือในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มภายหลัง การดูดซับแบบเทที่ละคราว (batch adsorption) ที่ระดับพีเอช ต่างๆ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 2 ตัวอย่าง เป็นสารดูดซับ.....163

ค3 ซีโอดีที่คงเหลือเมื่อน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไหลผ่าน ชั้นถ่านกัมมันต์ระดับความลึกต่างๆ ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ.....164

ค4 ค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่าน.....175

ค5 สมบัติของน้ำที่เข้าและออกจากระบบดูดซับเมื่อผ่านน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว ต่างๆ.....176

ค6 ซีโอดีและค่าสีที่คงเหลือ ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ยังไม่ผ่าน การใช้งาน และชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ผ่านการฟื้นคุณภาพ.....185

จ1 ผลกาคำนวณระยะเวลาใช้งานโดยใช้สมการของ Adams และ Bohart.....227

จ2 ผลการคำนวณปริมาตรน้ำที่ผ่านกระบวนการดูดซับ.....228

จ3 ผลการคำนวณมูลค่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้สำหรับดูดซับซีโอดี ในน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.....229

จ4 ผลการคำนวณระยะเวลาใช้งานของถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพ ครั้งที่ 1-100.....230

รายการภาพประกอบภาคผนวก

ภาพประกอบภาคผนวก หน้า

ก1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนียที่ทำปฏิกิริยา กับน้ำยาเนสเลอร์กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 475 นาโนเมตร....................144
ก2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 475 นาโนเมตร....................147
ก3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร....................148
ง1 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ....................187
ง2 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ....................199
ง3 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที....................211
ง4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ....................214
ง5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ....................217
ง6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพเป็นสารดูดซับ....................220
ง7 ซีโอดีและค่าสีที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที....................223

ตัวย่อ และสัญลักษณ์

mg/l	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
g/cc	=	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
BOD	=	Biochemical Oxygen Demand
COD	=	Chemical Oxygen Demand
SS	=	Suspended Solid
TS	=	Total Solid
AN	=	Ammonia Nitrogen
TN	=	Total Nitrogen
VFA	=	Volatile Fatty Acid
HRT	=	Hydraulic Retention Time
m^3/day	=	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
min	=	นาที
cm^3/cm^2/min	=	ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที
mm	=	มิลลิเมตร
cm	=	เซนติเมตร
m	=	เมตร
X	=	ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ
M	=	น้ำหนักของถ่าน
c	=	ความเข้มข้นของสารที่เหลืออยู่
k, n	=	ค่าคงที่
t	=	ระยะเวลาใช้งาน
D	=	ความลึกของชั้นถ่าน
N_0	=	ประสิทธิภาพการดูดซับ
C_0	=	ความเข้มข้นของสารที่เข้าสู่ชั้นถ่าน
C_B	=	ความเข้มข้นของสารที่ออกจากชั้นถ่าน ณ เบรคพอยต์
v	=	อัตราน้ำล้นผิว

K	=	อัตราการดูดซับ
D_0	=	ความลึกวิกฤติของชั้นถ่าน
ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที	=	ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที
ซม.	=	เซนติเมตร
มล.	=	มิลลิลิตร
ตร.ม.	=	ตารางเมตร
ลบ.ม.	=	ลูกบาศก์เมตร
มก./ล.	=	มิลลิกรัม/ลิตร

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ปาล์มน้ำมัน (oil palm) มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Elaeis quineensis* มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา จัดเป็นพืชตระกูลเดียวกับมะพร้าว ตาล จาก ระกำ ลำต้นเดี่ยวขึ้นตรงไม่มีกิ่งก้านเจริญได้ดีในเขตร้อนชื้น จากรายงานผลผลิตประจำปี ค.ศ. 1991 ขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติพบว่ามีการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อการค้าในประเทศต่างๆมากกว่า 28 ประเทศ ทั้งในทวีปเอเชีย แอฟริกา อเมริกาเหนือ อเมริกากลาง และประเทศในกลุ่มโอเชียเนีย (ศูนย์สถิติการเกษตร, 2539)

ประเทศไทยเริ่มมีการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อการค้าครั้งแรกในปี พ.ศ. 2511 ที่จังหวัดกระบี่ และสตูล ต่อมามีการปลูกกันอย่างแพร่หลายในหลายจังหวัดโดยเฉพาะจังหวัดทางภาคใต้ (ผาสุข กุลละวณิชย์ และคณะ, 2531) จังหวัดที่มีการปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดคือจังหวัดกระบี่ รองลงมาคือ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูล ตรัง ประจวบคีรีขันธ์ ชลบุรี สงขลา และพังงา ตามลำดับ พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั่วประเทศรวมทั้งสิ้น 1,101,487 ไร่ ทั้งนี้พื้นที่ปลูกประมาณร้อยละ 95 อยู่ในภาคใต้ ในปี พ.ศ. 2539 ผลผลิตในรูปปาล์มสดทั้งทะลายจากพื้นที่ภาคใต้มีมากถึง 2,169,177 ตัน (ศูนย์สถิติการเกษตร, 2539) และอุตสาหกรรมที่รองรับผลผลิตดังกล่าวคืออุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันจากผลปาล์ม

ปัจจุบันความต้องการใช้น้ำมันปาล์มมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีการนำน้ำมันปาล์มไปใช้ทดแทนน้ำมันพืชอื่นๆ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันเมล็ดนุ่น และอื่นๆ ตลอดจนสามารถใช้แทนไขมันสัตว์ได้เป็นอย่างดี และมีราคาถูก (ปรีชา มุณีศรี, 2539) อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มจึงมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว พบว่าในปี พ.ศ. 2536 มีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในภาคใต้ทั้งสิ้น 46 โรง (ศูนย์เศรษฐกิจอุตสาหกรรมภาคใต้, 2537) และเพิ่มเป็น 49 โรงในปี พ.ศ. 2538 (อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ, 2539) จนกระทั่งสิ้นเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2539 มีโรงงานสกัดน้ำมันที่มีรายชื่ออยู่ในทำเนียบโรงงานอุตสาหกรรม

ในภาคใต้ทั้งสิ้น 52 โรง แบ่งเป็นโรงงานสกัดน้ำมันแบบมาตรฐาน (แบบใช้น้ำ) 23 โรง และโรงงานสกัดน้ำมันแบบไม่ใช้น้ำ 29 โรง (ศูนย์เศรษฐกิจอุตสาหกรรมภาคใต้, 2539)

อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มแม้จะก่อให้เกิดรายได้และการจ้างงานในท้องถิ่นภาคใต้ แต่อุตสาหกรรมดังกล่าวก็ปลดปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะโรงงานสกัดน้ำมันแบบใช้น้ำหรือแบบมาตรฐาน ซึ่งมีผลผลิตในรูปน้ำมันปาล์มดิบรวมกันมากกว่าร้อยละ 85 ของผลผลิตทั้งหมด นอกจากจะมีวัสดุเหลือทิ้งในรูปของแข็ง ได้แก่ ทะลายเปล่า เส้นใย และกะลาปาล์มแล้ว ยังมีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตที่มีมลสารในรูปสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก (ตาราง 1) (อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ, 2539) แม้ว่าโรงงานสกัดน้ำมันแบบมาตรฐานทุกโรงจะมีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบบ่อธรรมชาติ แต่น้ำภายหลังการบำบัดเป็นน้ำที่มีสีอีกทั้งยังมีมลสารบางชนิดอยู่ในเกณฑ์สูง (ตาราง 1) เป็นผลให้ไม่สามารถระบายน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วออกสู่แหล่งรองรับน้ำสาธารณะได้ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบบ่อธรรมชาติมาแล้วมีค่า บีโอดี/ซีโอดี ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการบำบัดน้ำ ดังกล่าว ต่อไปโดยอาศัยวิธีเชิงฟิสิกส์หรือเคมีน่าจะเป็นแนวทางที่มีความเหมาะสมมากกว่าการใช้วิธี ทางชีวภาพและการใช้ถ่านดูดซับจัดเป็นวิธีเชิงฟิสิกส์-เคมี (physiochemical) วิธีการหนึ่งซึ่งควรนำมาพิจารณาเพื่อแก้ปัญหาข้างต้น

ตาราง 1 คุณลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มก่อนและหลังการบำบัด

Mills	type of wastewater	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	Suspended Solid (mg/l)	Oil &Grease (mg/l)	Nitrogen (mg/l)	Phosphorus (mg/l)	Potassium (mg/l)
1. Southern Palm (2521) Co. Ltd.	before treatment	4.60	35,850	88,500	18,440	5,750	N/A	N/A	N/A
	after treatment	9.45	169	667	126	40.8	114	3.18	1,965
2. Praseang Palm Oil Co. Ltd.	before treatment	4.1	36,000	N/A	11,143	N/A	N/A	N/A	N/A
	after treatment	8.5	306	N/A	567	N/A	N/A	N/A	N/A
3. Unipalm Industry Co. Ltd.	before treatment	4.50	44,550	170,300	34,590	15,860	N/A	N/A	N/A
	after treatment	8.80	345	480	660	58.0	172	20.25	2,847
4. Asian Palm Oil Co. Ltd.	before treatment	4.00	37,800	92,500	17,300	6,130	N/A	N/A	N/A
	after treatment	8.60	365	1,028	250	51.0	N/A	N/A	N/A
5. Sricharoen Palm Oil Co. Ltd	before treatment	4.45	37,350	95,700	24,500	11,510	N/A	N/A	N/A
	after treatment	4.70	8,730	16,940	1,320	216.0	286	91.80	1,663
6. United Palm Oil Co. Ltd.	before treatment	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	after treatment	7.70	420	N/A	3,333	N/A	N/A	N/A	N/A
7. Abio Holding Co. Ltd.	before treatment	4.60	37,400	71,200	15,200	5,530	N/A	N/A	N/A
	after treatment	8.55	180	240	10	347	233	14.3	663
8. Trang Palm Oil Co. Ltd.	before treatment	4.25	44,250	88,000	25,100	8,820	N/A	N/A	
	after treatment	7.90	474	2,810	870	51.5	938	40.25	2,130

<u>หมายเหตุ</u> N/A หมายถึง non analysis

ที่มา : ดัดแปลงจาก อรัญ หันพงศ์กิตติกูล (2537)

2. ตรวจเอกสาร

2.1 การสกัดน้ำมันจากผลปาล์ม

การสกัดน้ำมันจากผลปาล์มในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การสกัดแบบใช้น้ำ และการสกัดแบบไม่ใช้น้ำ แต่วิธีการสกัดที่สามารถรองรับวัตถุดิบได้ในปริมาณมากและให้ผลผลิตในรูปน้ำมันปาล์มดิบที่มีคุณภาพ คือการสกัดแบบใช้น้ำหรือการสกัดแบบมาตรฐานซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับโรงงานขนาดใหญ่ และใช้เงินลงทุนสูง

ขั้นตอนโดยทั่วไปของสกัดน้ำมันแบบใช้น้ำเริ่มจากการอบทะลายปาล์มสดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 120-130 องศาเซลเซียส ความดัน 40-60 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นเวลาประมาณ 40-60 นาที การอบผลปาล์มจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาลิโปไลซิสที่จะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์ม นอกจากนี้ไอน้ำยังทำให้ผลปาล์มอ่อนนุ่มสะดวกต่อการย่อยและการหีบทั้งยังทำให้ขั้วหลุดออกจากทะลายได้ง่าย ทะลายปาล์มที่อบแล้วจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องแยกผลปาล์มและทะลายเปล่าออกจากกัน ผลปาล์มที่แยกได้จะถูกนำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์ม ซึ่งภายในมีใบพัดกวนผลปาล์มให้เส้นใยฉีกแยกออกจากเมล็ดและเซลน้ำมันเกิดการแตกตัว ขณะย่อยผลปาล์มจะมีการเติมน้ำลงไปเล็กน้อย จากนั้นจึงป้อนเข้าเครื่องหีบแบบอัดเกลียวเพื่อแยกน้ำมันออกจากเส้นใยและเมล็ดใน น้ำมันที่ได้จากเครื่องหีบจะมีเส้นใยและกากต่างๆผสมอยู่มักมีการผสมน้ำเข้าไปแล้วนำไปกรองผ่านตะแกรงแบบสั่นเพื่อแยกน้ำมันออกจากสิ่งเจือปน จากนั้นจึงทำการแยกกรวดทรายออกด้วยเครื่องแยกกรวดทรายแบบไฮโดรไซโคลน น้ำมันที่ได้จะถูกส่งเข้าเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำและกากสลัดจ์ อย่างไรก็ตามน้ำมันดิบยังคงมีสิ่งเจือปนอยู่อีกมากโดยเฉพาะอนุภาคของของแข็งขนาดเล็ก จะต้องนำน้ำมันเข้าเครื่องแยกเหวี่ยงความเร็วสูงเพื่อกำจัดอนุภาคของแข็งเหล่านี้ แล้วจึงผ่านเข้าสู่เครื่องดูดสุญญากาศเพื่อไล่ความชื้น น้ำมันดิบที่ผ่านการไล่ความชื้นแล้วจะถูกลำเลียงไปเก็บในถังเก็บน้ำมันขนาดใหญ่ รอเข้าสู่ขั้นการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์หรือเตรียมจำหน่ายโรงงานทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ต่อไป (อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ, 2539) (กระบวนการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มดังแสดงในภาพประกอบ 1)

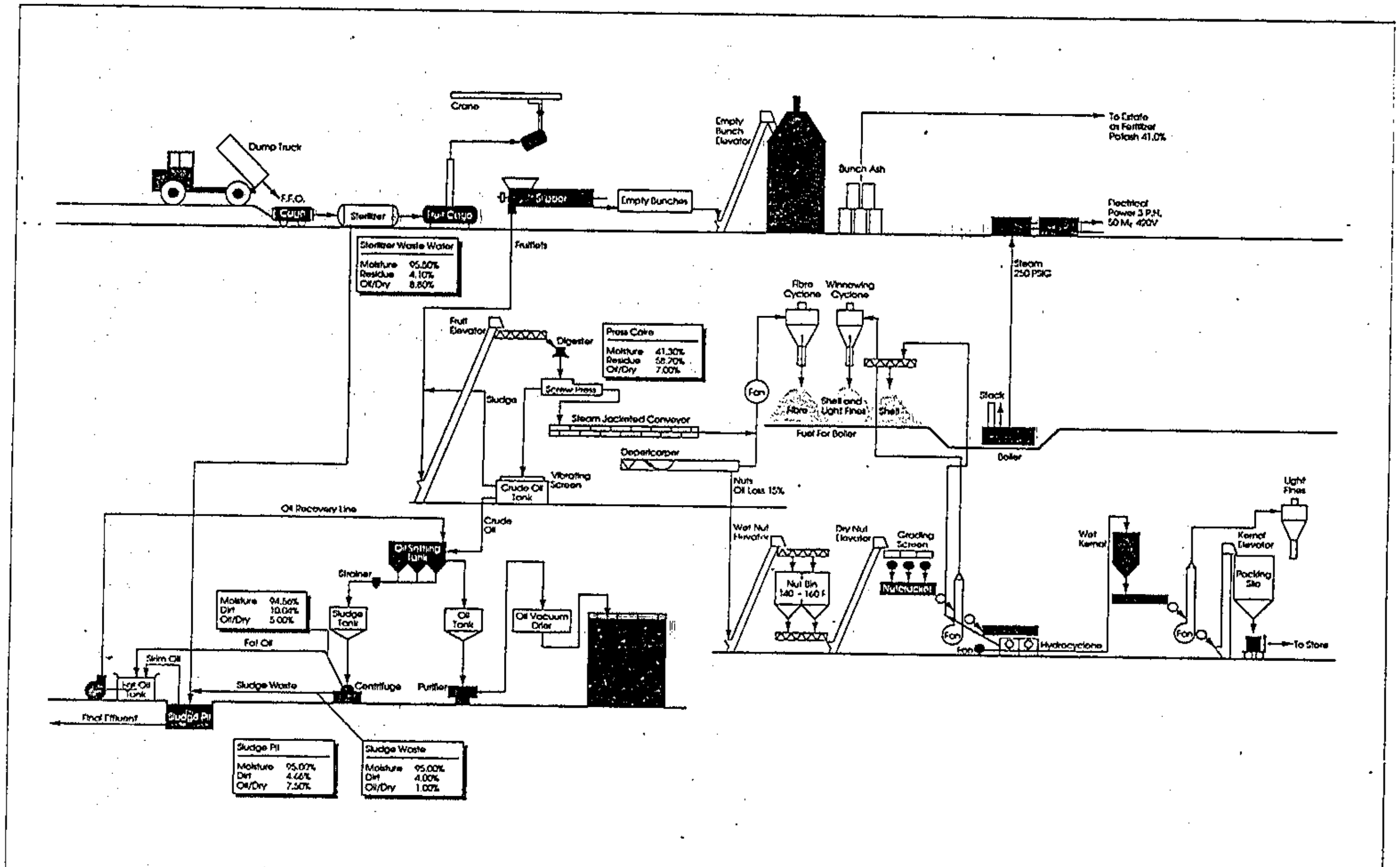


FIGURE 26.9
TYPICAL FLOW SHEET PROCESS FOR PALM OIL PRODUCTION

ภาพประกอบ 1 แผนภูมิแสดงกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

ที่มา : Maheswaren (1985) quoted in Nelson (1991)

2.2 ปริมาณและสมบัติน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบใช้น้ำ

น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันจากผลปาล์มเกือบทั้งหมดเกิดจากน้ำที่ใช้ในระหว่างกระบวนการสกัดน้ำมันซึ่งมาจาก 5 แหล่งใหญ่ คือ

2.2.1 น้ำนึ่งปาล์ม เป็นน้ำทิ้งจากการอบทะลายปาล์มด้วยไอน้ำ น้ำส่วนนี้แม้จะมีน้ำมันอยู่แต่มีสารแขวนลอยต่ำและไม่มีสภาพเป็นอิมัลชัน โดยทั่วไปการอบทะลายปาล์ม 25 ตัน จะมีน้ำนึ่งปาล์มเกิดขึ้นประมาณ 2.0-3.0 ลบ.ม.

2.2.2 น้ำทิ้งจากการแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน น้ำทิ้งส่วนนี้เกิดขึ้นมากที่สุดและเป็นน้ำทิ้งที่มีของแข็งแขวนลอยมาก กรณีที่ใช้ decanter ในการแยกน้ำทิ้งจากการแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน จะมีน้ำสลัดจ์ที่ถูกแยกออกมาประมาณ 0.35 ลบ.ม./วัตถุดิบ 1 ตันทะลายปาล์มสด และในกรณีที่ใช้ separator จะมีน้ำสลัดจ์ที่ถูกแยกออกมาประมาณ 0.65 ลบ.ม./วัตถุดิบ 1 ตันทะลายปาล์มสด

2.2.3 น้ำทิ้งจากการล้างทำความสะอาดเครื่องมือ เครื่องมือที่ต้องทำความสะอาดบ่อยครั้งได้แก่

2.2.3.1 เครื่องแยกกรวดทราย ต้องทำการล้างทุกครึ่งชั่วโมงใช้น้ำในการล้างประมาณ 0.05-0.1 ลบ.ม. ต่อครั้ง

2.2.3.2 เครื่องแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งต้องมีการล้างทำความสะอาด ซึ่งจะมีน้ำทิ้งเกิดขึ้นครั้งละ 0.2-0.5 ลบ.ม.

2.2.3.3 เครื่องแยกเหวี่ยงความเร็วสูง ต้องทำการล้างทุก 20-30 นาทีในการล้างจะใช้น้ำครั้งละ 0.05-0.06 ลบ.ม.

นอกจากนี้ยังต้องล้างทำความสะอาดพื้น ถังพัก และภาชนะต่างๆอีกด้วยน้ำทิ้งจากการล้างเครื่องมือและอุปกรณ์จะมีผงซักฟอกที่ใช้ในการกำจัดคราบไขมันเจือปนอยู่ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำทิ้งส่วนอื่นจะได้อิมัลชันที่คงตัวและยากต่อการบำบัด ประมาณว่าเมื่อใช้วัตถุดิบ 1 ตันทะลายปาล์มสด จะต้องใช้น้ำล้างทำความสะอาด 0.06 ลบ.ม.

2.2.4 น้ำจากการหล่อเย็นหม้อกำเนิดไอน้ำและเครื่องระเหย เป็นน้ำที่มีของแข็งแขวนลอยต่ำมากและยังสะอาดอยู่

2.2.5 น้ำสลัดจ์จากเครื่องแยกเหวี่ยงความเร็วสูง (centrifuge)เกิดขึ้นประมาณ 0.03-0.15 ลบ.ม./ตันทะลายปาล์มสด (อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ, 2539)

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 60 ของปริมาณทะลายปาล์ม (Hwang, *et al.*, 1978 อ้างถึงใน ปรีชา มุณีศรี, 2539) หรือมีปริมาณน้ำเสีย 2.5-3.0 เท่าของปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ (Cheah, *et.al.*, 1988 อ้างถึงใน ปรีชา มุณีศรี, 2539)

อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ (2537) พบว่าการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มโดยใช้วัตถุดิบ 1 ตันทะลายปาล์มสด จะมีน้ำทิ้งเกิดขึ้นประมาณ 0.87 ลบ.ม. และในน้ำดังกล่าวจะมีมลสารในรูป ซีโอดี, บีโอดี, ของแข็งแขวนลอย, และน้ำมัน 52.45, 26.58, 12.88 และ 8.1 กิโลกรัม ตามลำดับ

ตาราง 2 สมบัติของน้ำทิ้งจากขั้นตอนต่างๆในการสกัดน้ำมันจากผลปาล์ม และน้ำในบ่อรวมน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันผลปาล์ม

ปัจจัยคุณภาพ	น้ำทิ้งจากบ่อรวม	น้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ	น้ำทิ้งจากเครื่องแยกน้ำและกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน
สี	น้ำตาลคล้ำ	น้ำตาล	น้ำตาลหรือน้ำตาลปนดำ
พีเอช	4.05-4.62	4.84-5.35	4.61-4.89
บีโอดี	54,750-60,000	22,800-41,985	21,000-45,375
ซีโอดี	80,523-115,934	45,360-80,146	38,246-67,567
กรดที่ระเหยได้	3,128-5,870	998-7,125	1,838-2,273
ความเป็นด่าง	68-200	3.75-1,576	86.5-480
ไขมัน	16-2,449	20.9-1,103	4.7
ของแข็งทั้งหมด	49,063-88,508	26,367-76,733	25,634-47,242
ของแข็งระเหยได้	42,063-81,872	24,415-67,635	23,056-39,617
ของแข็งแขวนลอย	18,500-52,000	26,000-6,100	29,000-20,300
ไนโตรเจน			
- แอมโมเนีย	27-61	7.7-66.3	22.8-23.0
- อินทรีย์สาร	551-1,172	22.4-1,287	518.5

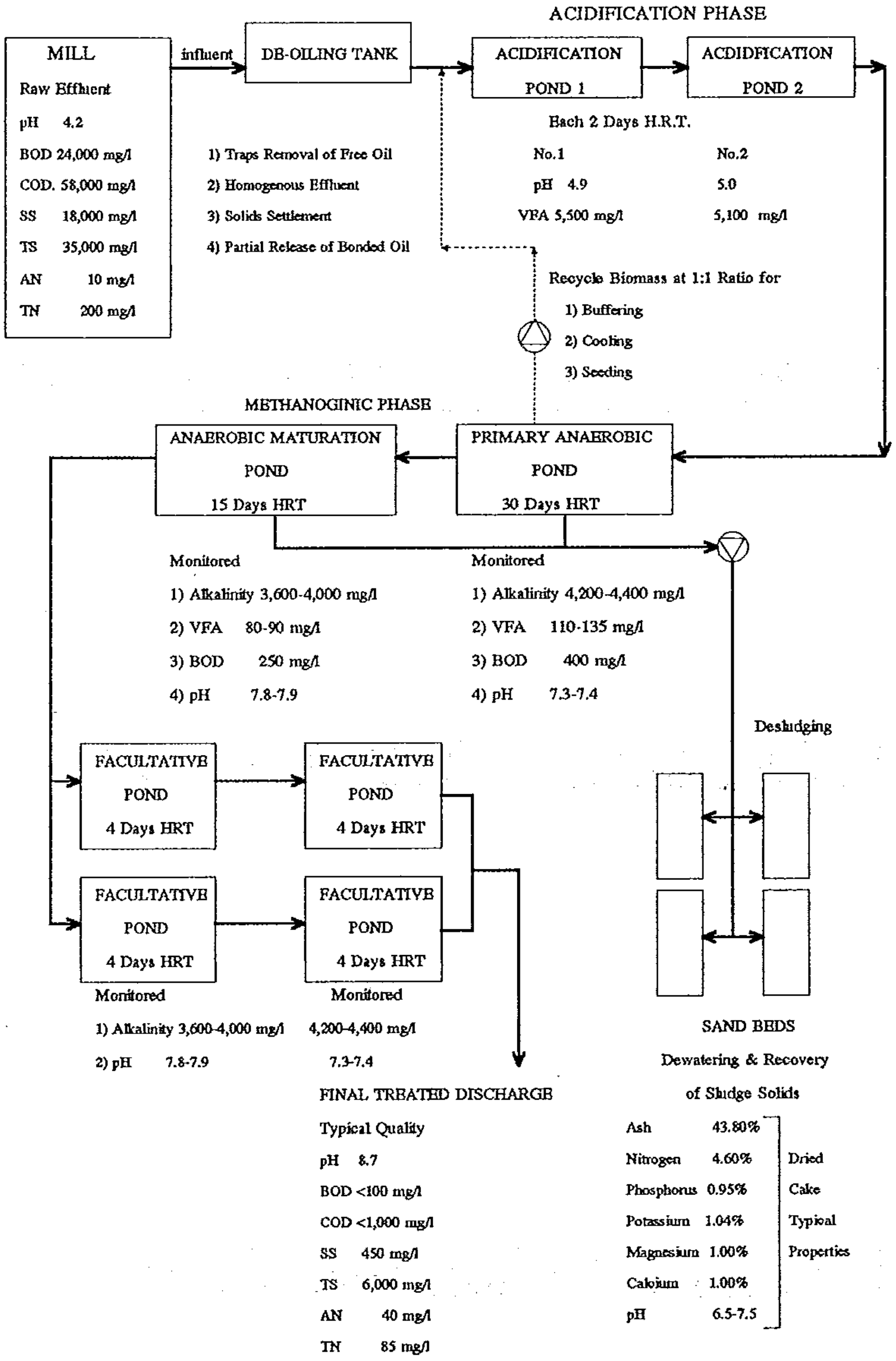
หมายเหตุ ทุกหน่วยมีค่าเป็น มิลลิกรัม/ลิตร ยกเว้นสี และ พีเอช

ที่มา : ดัดแปลงจากพูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ (2533)

2.3 การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยวิธีทางชีวภาพ

การใช้ระบบบ่อบำบัดไร้อากาศเป็นวิธีการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ได้รับความนิยมมากที่สุด การย่อยสลายแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะการสร้างกรดและระยะการผลิตก๊าซมีเทน การแยกระยะการบำบัดเป็น 2 ระยะ จะให้ประโยชน์ในแง่ที่สามารถจัดการสภาวะแวดล้อมต่างๆให้เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนได้ ซึ่งตัวอย่างของระบบบ่อบำบัดที่ได้รับการพัฒนานี้ (ภาพประกอบ 2) มีรายละเอียดดังนี้

สมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่บ่อบำบัดมีดังนี้ พีเอช 4.2 บีโอดี 24,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซีโอดี 58,000 มิลลิกรัม/ลิตร ของแข็งแขวนลอย 18,000 มิลลิกรัม/ลิตร ของแข็งทั้งหมด 58,000 มิลลิกรัม/ลิตร และไนโตรเจนทั้งหมด 200 มิลลิกรัม/ลิตร ขั้นตอนการบำบัดเริ่มจากระบายน้ำเสียไปยังถังกำจัดไขมันเพื่อกำจัดน้ำมันอิสระ ตกตะกอนของแข็งทำให้น้ำเสียเป็นเนื้อเดียวกัน และทำให้น้ำมันที่ไม่เป็นอิสระ (bonded oil) หลุดออกบางส่วน แล้วจึงระบายน้ำเข้าสู่บ่อผลิตกรดซึ่งมีสองระบบย่อยสามารถผลิตกรดไขมันระเหยที่ได้ (volatile fatty acid) 5,500 และ 5,100 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าบีโอดีลดลงร้อยละ 98.3 ที่ระยะเวลาการย่อย 2 วัน/บ่อ แล้วระบายน้ำเข้าสู่บ่อผลิตก๊าซมีเธนซึ่งเป็นบ่อไร้อากาศ 2 บ่อ บ่อแรกเป็นบ่อไร้อากาศขั้นต้น (primary anaerobic pond) ใช้เวลากักพัก 30 วัน และบ่อที่ 2 (anaerobic maturation pond) ใช้เวลากักพัก 15 วัน บีโอดีจะลดลงร้อยละ 98.9 และจะมีการระบายน้ำจากบ่อผลิตก๊าซมีเธนขั้นต้นไปผสมกับน้ำในบ่อผลิตกรดบ่อแรกเพื่อให้เกิดบัฟเฟอร์ เป็นหัวเชื้อ (seed) และทำให้น้ำในบ่อดังกล่าวเย็นลง บ่อสุดท้ายเป็นบ่อกึ่งไร้อากาศ (facultative pond) แบบคู่ขนาน 4 บ่อ ใช้เวลากักพักเพื่อให้เกิดการย่อย 4 วัน/บ่อ ซึ่งจะทำให้ค่าบีโอดีลดลงร้อยละ 99.6 ซีโอดีลดลงร้อยละ 98.3 ของแข็งแขวนลอยลดลงร้อยละ 97.5 (Chooi, 1985 อ้างถึงใน ปรีชา มุณีศรี, 2539)



ภาพประกอบ 2 ระบบบำบัดแบบไร้อากาศและกึ่งไร้อากาศของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

ที่มา : Chooi (1985) อ้างถึงใน ปรีชา มุณีศรี (2539)

2.4 การดูดซับและสารดูดซับ

2.4.1 การดูดซับ (adsorption) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคในสารละลายเกาะติดและสะสมอยู่บนผิวของของแข็ง (Treybal, 1981) ในที่นี้อนุภาคที่เกาะติดและสะสมอยู่บนพื้นผิวของของแข็งคือสารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) และของแข็งดังกล่าวคือสารดูดซับ (adsorbent) รูปแบบของการดูดซับเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ คือ

2.4.1.1 การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคของสารที่ถูกดูดซับเคลื่อนที่มาสัมผัสผิวหน้าของสารที่ถูกดูดซับ และหากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพื้นผิวของสารดูดซับกับอนุภาคของสารที่ถูกดูดซับมีค่ามากกว่าพลังงานจลน์ของอนุภาคนั้น อนุภาคนั้นจะเกาะติดพื้นผิวของสารดูดซับด้วยแรงวันเดอร์วาลล์ (Vander Wall's force) แต่เนื่องจากพันธะที่เกิดจากแรงวันเดอร์วาลล์มีความแข็งแรงน้อยการดูดซับทางกายภาพจึงเป็นปรากฏการณ์ที่ผันกลับได้ (Treybal, 1981)

2.4.1.2 การดูดซับทางเคมี (chemisorption) เป็นการดูดซับที่เกิดจากการสร้างพันธะเคมีระหว่างพื้นผิวของสารดูดซับกับอนุภาคของสารที่ถูกดูดซับ พันธะทางเคมีดังกล่าว เช่น พันธะไฮโดรเจน, พันธะไดโพล-ไดโพล (dipole-dipole interaction) (Snoeyink, 1990) เนื่องจากพันธะทางเคมีเป็นพันธะที่มีความแข็งแรงการดูดซับทางเคมีส่วนใหญ่จึงเป็นปรากฏการณ์ไม่ผันกลับ (Treybal, 1981)

2.4.2 สารดูดซับ โดยปกติพื้นผิวของของแข็งล้วนมีสมบัติเป็นสารดูดซับ ซึ่งความสามารถในการดูดซับนอกจากจะขึ้นอยู่กับความจำเพาะระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับสารดูดซับแล้วยังขึ้นอยู่กับพื้นผิวของสารดูดซับด้วย สารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมมีความสามารถในการดูดซับสูง สารที่นำมาใช้เพื่อการดูดซับโดยเฉพาะจึงเป็นสารที่มีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักสูง อาจมีลักษณะเป็นผง (powder) หรือเป็นเม็ด (granular) (Treybal, 1981) สารดูดซับที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรม เช่น

- ดินฟูลเลอร์ (Fuller's earth) ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันสำหรับประกอบอาหาร
- ถ่านกระดูก (bone char or bone black) ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล
- ถ่านดูดซับสี (decolorizing carbon) ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำดื่ม และอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันสำหรับประกอบอาหาร

- ถ่านดูดซับก๊าซ (gas adsorbent carbon) ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ และดูดซับกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์

- ซิลิกาเจล (silica gel) ใช้ดูดซับความชื้นในอากาศ อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ และอุตสาหกรรมการผลิตหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ

2.5 ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

ถ่านกัมมันต์ เป็นถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกระบวนการทางกายภาพหรือกระบวนการทางเคมีทำให้ช่องว่างภายในเม็ดถ่านเพิ่มขึ้น (ภาพประกอบ 3) ถ่านกัมมันต์จึงมีความพรุน (porosity) และพื้นที่ผิวภายใน (internal surface area) สูง โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวประมาณ 450-1,500 ตารางเมตร/กรัม (Weber, 1981) นอกจากนี้พื้นที่ผิวของโพรงยังมีอิเลคตรอนอิสระที่พร้อมจะแลกเปลี่ยนประจุและยึดเหนี่ยวโมเลกุลของสารต่างๆไว้ได้เป็นอย่างดี (ดำรงค์ ชุมมงคล และ อภิสิทธิ์ เจริญกุล, 2533) ทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสารต่างๆมากกว่าถ่านธรรมดา โพรงภายในเม็ดถ่าน (internal pore) มีขนาดตั้งแต่ 10-10,000 อังสตรอม โพรงที่มีขนาดเล็กกว่า 20 อังตรอม จัดเป็นโพรงขนาดเล็ก (micropore) โพรงที่มีขนาด 20-200 อังสตรอม จัดเป็นโพรงขนาดกลาง (intermediate pore) และโพรงที่มีขนาดใหญ่กว่า 200 อังสตรอม จัดเป็นโพรงขนาดใหญ่ (macropore) (Gregg and Sing, 1969)

(a) (b)

ภาพประกอบ 3 ถ่านก่อนการกระตุ้น (a) และหลังการกระตุ้นเพื่อให้เป็นถ่านกัมมันต์ (b)
ที่มา : Tchobonoglous (1977)

ถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะปรากฏ ได้แก่

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon ; PAC) ปริมาณถ่านที่ผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก

2. ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (Granular Activated Carbon;GAC) ปริมาณถ่านที่ผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532)

วัตถุดิบที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 จำพวก คือ

1. เซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อย ชานอ้อย ซังข้าวโพด เมล็ดผลไม้

2. ถ่านหิน เช่น ลิกไนท์ พีท บิทูมินัส

3. ชิ้นส่วนจากสัตว์ เช่น กระดูก เลือดแห้ง

ทั้งนี้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเซลลูโลสหรือชิ้นส่วนจากสัตว์จะมีแร่ธาตุที่เป็นอันตรายน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน (Berl, 1938 อ้างถึงใน ดำรง ชุมมงคล และ อภิสิทธิ์ เจริญกุล, 2533)

ในการทำถ่านกัมมันต์วัตถุดิบที่ใช้จะผ่านการบดและคัดขนาด แล้วนำไปเผาให้เป็นถ่าน (carbonization) ที่อุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำถ่านที่ได้ไปกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ วิธีการกระตุ้นที่นิยมคือการใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (super heated steam) ทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส หรือใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติดูดน้ำ (dehydrating agent) เช่น สังกะสีคลอไรด์ ($ZnCl_2$) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) (ดำรงค์ ชุมมงคล และอภิสิทธิ์ เจริญกุล, 2533) ทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิประมาณ 600-700 องศาเซลเซียส (Hassler, 1963) (แผนภูมิการผลิตถ่านกัมมันต์ดังแสดงในภาพประกอบ 4)

วัตถุดิบ

↓

บดและร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาดหรือทำเป็นเม็ด

↓

เผาที่อุณหภูมิต่ำ (carbonization)

↓

กระตุ้นด้วยสารเคมีหรือวิธีออกไซด์ที่อุณหภูมิสูง

↓

ล้างและทำให้แห้ง

↓

บดและร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาด

↓

ถ่านกัมมันต์

ภาพประกอบ 4 แผนภูมิแสดงกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์
ที่มา : ภัคพงศ์ จุฑาศิริวงศ์ และพรพจน์ ศิริวงศ์ (2534)

การกระตุ้นด้วยสารเคมีแม้จะมีข้อดีคือใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โพรงที่เกิดจากการกระตุ้นมีจำนวนมาก และมีขนาดใหญ่ (สงวนเกียรติ ล้วนรัตนากร, 2528) แต่จะต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นออกจากถ่านกัมมันต์ให้หมด ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองเวลา แรงงาน ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการล้างและอบแห้ง (ดำรงค์ ชุมมงคล และ อภิสิทธิ์ เจริญกุล, 2533) อีกทั้งสารเคมีบางชนิดยังมีฤทธิ์กัดกร่อนภาชนะบรรจุและเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตเป็นเหตุให้อายุการใช้งานของเครื่องมือและอุปกรณ์เหล่านี้สั้นลง (สงวนเกียรติ ล้วนรัตนากร, 2528) ในขณะที่การ กระตุ้นด้วยไอน้ำ จะไม่มีปัญหาสารเคมีตกค้างและใช้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่า (อุไรวรรณ ธรรมรัตน์นพคุณ, 2530)

เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสารต่างๆทั้งที่อยู่ในสภาวะของเหลวและก๊าซ จึงมีการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆอย่างกว้างขวาง เช่น อุตสาหกรรมน้ำตาลทราย อุตสาหกรรมยาและสารเคมี อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

อุตสาหกรรมบุหรี่ (ทำก้นกรอง) อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ อุตสาหกรรมหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ นอกจากนี้ยังมีการทดลองใช้ถ่านกัมมันต์ในการรักษาโรคโดยตรง เช่น ใช้ผงถ่านลดก๊าซในกระเพาะอาหาร และบรรเทาอาการปวดท้องเนื่องจากอาหารเป็นพิษ (ภัคพงศ์ จุฑาศิริวงศ์ และ พรพจน์ ศิริวงศ์, 2534)

2.6 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ในสภาวะของเหลว (liquid phase adsorption)

2.6.1 กลไกการดูดซับ

การดูดซับที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์มักเป็นการดูดซับทางกายภาพ กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ

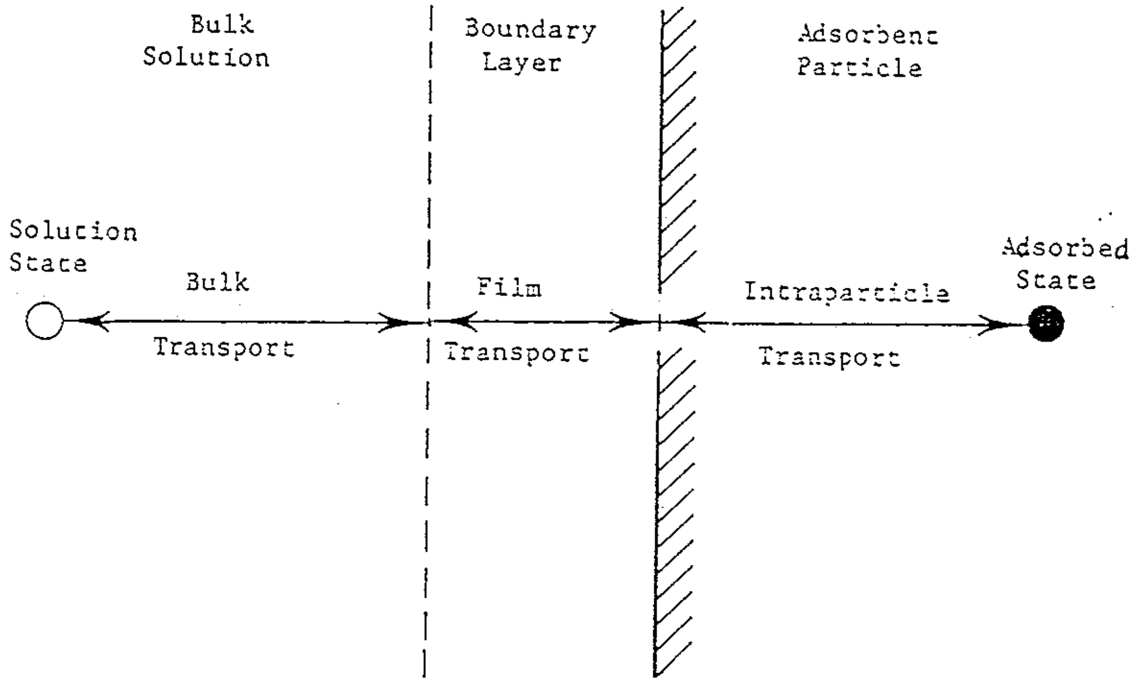
2.6.1.1 การเคลื่อนที่สู่สารดูดซับ (bulk transport) ขั้นนี้อนุภาคของสารที่ถูกดูดซับจะเคลื่อนที่มาเกาะติดชั้นฟิล์มของของเหลวที่หุ้มผิวนอกของถ่านกัมมันต์

2.6.1.2 การเคลื่อนที่ผ่านฟิล์ม (film transport) ในขั้นนี้อนุภาคของสารที่ถูกดูดซับจะแพร่ผ่านฟิล์มของเหลวที่หุ้มถ่านกัมมันต์

2.6.1.3 การเคลื่อนที่ผ่านโพรงภายใน (intraparticle transport) เป็นขั้นที่อนุภาคของสารที่ถูกดูดซับเคลื่อนที่ถึงผิวนอกของเม็ดถ่าน จากนั้นจะเคลื่อนที่ผ่านโพรงภายในขนาดต่างๆ โดยการแพร่

2.6.1.4 การถูกดูดซับ (adsorbed state) ในขั้นนี้สารที่ถูกดูดซับจะเกาะพื้นที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์

ในระยะแรกของการดูดซับ ขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการดูดซับคือการเคลื่อนที่ผ่านฟิล์ม ต่อเมื่อสารที่ดูดซับเริ่มแพร่เข้าสู่โพรงในเม็ดถ่าน การเคลื่อนที่ผ่านโพรงภายในจะเป็นขั้นที่ควบคุมอัตราการดูดซับ นอกจากนี้ขนาดของอนุภาคของสารที่ถูกดูดซับก็เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการดูดซับเช่นกัน สารที่ถูกดูดซับซึ่งมีขนาดใหญ่ เช่น กรดฮิวมิก ย่อมมีความสามารถในการแพร่น้อยกว่าสารโมเลกุลเล็ก เช่น สารประกอบฟีนอล การดำเนินการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่จึงใช้เวลานานกว่าการดูดซับสารโมเลกุลขนาดเล็ก (Snoeyink, 1990)



ภาพประกอบ 5 กลไกการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์
ที่มา : Weber (1981)

2.6.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

2.6.2.1 สมบัติของสารที่ถูกดูดซับ

- ความสามารถในการละลาย ในกรณีที่สารที่ถูกดูดซับมีความสามารถในการละลายสูง ถ่านกัมมันต์จะดูดซับสารดังกล่าวได้น้อย

- โครงสร้างของโมเลกุล พบว่าโมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นสายยาวและมีการแตกกิ่ง (branched chains) จะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่เป็นสายยาวและตรง (straight chains)

- ขนาดของโมเลกุล โมเลกุลขนาดใหญ่จะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลขนาดเล็ก แต่ทั้งนี้จะต้องไม่ใหญ่กว่าโพรงของถ่านมิฉะนั้นจะทำให้เกิดการอุดตันและการดูดซับต่ำลง

- ความเป็นขั้ว โมเลกุลที่มีความเป็นขั้วต่ำจะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่มีความเป็นขั้วสูง (Ford, 1981)

2.6.2.2 พีเอช เมื่อพีเอชลดลงการดูดซับโมเลกุลของสารนอนโพลาร์จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากไฮโดรเจนอิออน (H^+) ทำให้พื้นผิวของคาร์บอนซึ่งโดยปกติเป็นนอนโพลาร์ค่อนข้างลบเล็กน้อยมีสภาพเป็นกลางโมเลกุลนอนโพลาร์ของสารในน้ำจึงเกาะติดผิวคาร์บอนได้ดีขึ้น (วิไลพร วณิชย์วไรดม, 2536) ในกรณีที่สารที่ถูกดูดซับเป็นกรดอินทรีย์หรือเบสอินทรีย์ การปรับพีเอชของสารละลายเพื่อให้โมเลกุลของสารเหล่านี้มีสภาพเป็นกลาง ย่อมทำให้สารเหล่านี้มีความสามารถในการละลายลดลงและถูกดูดซับได้มากขึ้น เช่น ที่ระดับพีเอช 8 โมเลกุลของฟีนอลจะอยู่ในสภาพเป็นกลาง แต่เมื่อเพิ่มระดับพีเอชจนถึง 10 โมเลกุลของฟีนอลจะมีประจุเป็นลบ ความสามารถในการดูดซับฟีนอลที่ระดับพีเอช 8 จึงสูงกว่าที่ระดับพีเอช 10 (Snoeyink, 1990)

2.6.2.3 พื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนัก ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักสูงย่อมมีความสามารถในการดูดซับสูง

2.6.2.4 ขนาดของโพรงภายใน ถ่านกัมมันต์ที่ประกอบด้วยโพรงขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่ สามารถดูดซับสารที่มีขนาดเล็กหรือสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ดี ในขณะที่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าย่อมถูกดูดซับได้ดีเมื่อถ่านกัมมันต์ที่ใช้ประกอบด้วยโพรงขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามถ่านที่มีโพรงขนาดใหญ่เป็นจำนวนมากย่อมจะมีพื้นที่ผิวภายในน้อย (Snoeyink, 1990)

2.6.2.5 สภาพทางเคมีบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ พบว่าการออกซิไดซ์ถ่านกัมมันต์ด้วยสารละลายแอมโมเนียมเพอร์ซัลเฟต (ammonium persulfate) จะทำให้ความสามารถในการดูดซับฟีนอล ไนโตรเบนซีน และ เบนซีนซัลโฟเนต ลดลงเป็นอย่างมาก (Coughlin and Ezra 1968, quoted in Snoeyink, 1990) และการเพิ่มออกซิเจนบนพื้นผิวของคาร์บอนแบลคซึ่งเป็นสารดูดซับที่มีลักษณะใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ จะทำให้ความสามารถในการดูดซับฟีนอลของคาร์บอนแบลคลดลงและไม่สามารถดูดซับไอโอดีนได้เลย (Kipling and Shooter, 1969, quoted in, Snoeyink, 1990)

2.6.2.6 สารอนินทรีย์ที่ปรากฏในสารละลาย สารอนินทรีย์บางชนิด เช่น เหล็ก แมงกานีส และเกลือของแคลเซียม หากรวมตัวกับสารที่ต้องการให้ถูกดูดซับย่อมทำให้ความสามารถในการดูดซับสารดังกล่าวลดลง (Snoeyink, 1990) แต่ในกรณีการดูดซับสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำทิ้ง หากมีการเติมคลอไรด์หรือโอโซนจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดซับ เนื่องจากสารไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยอนุภาค

คลอไรด์ (chlorinated hydrocarbon) จะถูกดูดซับได้มากกว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทั่วไป และการเติมโอโซนในน้ำก่อนผ่านเข้าสู่ระบบดูดซับ จะเปลี่ยนสารที่ไม่สามารถถูกดูดซับได้ให้เป็นสารที่ถูกดูดซับได้มากขึ้น (Ford, 1978)

2.6.2.7 อุณหภูมิขณะเกิดการดูดซับ แม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้อนุภาคของสารที่ถูกดูดซับแพร่ผ่านชั้นฟิล์มของของเหลวที่หุ้มผิวนอกของถ่านกัมมันต์และแพร่ผ่านโพรงของถ่านได้เร็วขึ้น แต่ก็ทำให้แรงยึดระหว่างอนุภาคของสารที่ถูกดูดซับกับผิวภายในของถ่านอ่อนลง (Brougton, 1981) และแม้ว่าการลดอุณหภูมิในขณะดูดซับลงจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับได้บ้าง แต่ก็นับว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอื่นๆ (Ford, 1978)

2.7 การใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับมลสารในน้ำทิ้ง

ความพยายามในการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในงานบำบัดน้ำทิ้งเริ่มจากโครงการ Advance Wastewater Treatment Research (AWTR) ของหน่วยงานบริการด้านสาธารณะสุขของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Public Health Service) โครงการดังกล่าวมุ่งแสวงหาวิธีในเชิงกายภาพ-เคมี (physiochemical) ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำทิ้งขั้นที่ 3 (tertiary wastewater treatment) โครงการเริ่มดำเนินในช่วงต้นของทศวรรษที่ 196 ทั้งนี้การใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับมลสารในน้ำทิ้งเป็นประเด็นศึกษาประเด็นหนึ่งที่ผู้ดำเนินโครงการสนใจ การศึกษาในประเด็นข้างต้นได้ดำเนินการในขั้นโครงนำร่อง (pilot-plant investigation) และโครงการเต็มรูปแบบ (full scale investigation) ณ บริเวณทะเลสาบ Tahoe มลรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา และ ที่เมือง Windhoek ประเทศอาฟริกาใต้ (Weber, 1981)

ในช่วงเวลาประมาณ 30 ปีที่ผ่านมานับตั้งแต่การเริ่มต้นโครงการ AWTR การใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อการดูดซับมลสารในน้ำทิ้งได้รับการพัฒนามาโดยลำดับ ปัจจุบันถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้เพื่อการดูดซับมลสารทั้งในน้ำทิ้งจากชุมชนและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (ตาราง 3-4) มลสารดังกล่าวมักเป็นสารอินทรีย์รวมถึงสารพิษต่างๆ เช่น มลสารในรูปสี ทีโอซี บีโอดี ซีโอดี ฟีนอล ไซลีน คลอโรฟีนอล และ ดีดีที

ในการใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับมลสารในน้ำทิ้งหรือการใช้ถ่านกัมมันต์ปรับปรุงคุณภาพน้ำมักเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด เนื่องจากถ่านกัมมันต์ดังกล่าวมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในระบบดูดซับแบบไหลต่อเนื่อง และสามารถรับน้ำทิ้งที่มี

ตาราง 3 หน่วยบำบัดน้ำเสียจากชุมชนที่ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับมลสาร

Site	average plant capacity (m^3/day)	contactor type	No. of contactors in series	contact time[a] (min)	hydraulic loading (cm^3/cm^2/min)	total carbon depth (m)	carbon size (mesh)	effluent requirements (oxygen demand)
1. Arlington, Virginia	113,636	downflow gravity	1	38	11.81	4.57	8 x 30	BOD 3 mg/l
2. Colorado Spring, Colorado	11,364	downflow	2	30	20.37	6.10	8 x 30	BOD 2 mg/l
3. Dallas, Texas	378,788	upflow packed	1	10	32.59	3.05	8 x 30	BOD 10 mg/l
4. Fairfax County, Virginia	136,364	downflow gravity	1	36	12.22	4.57	8 x 30	BOD 3 mg/l
5. Los Angelese, California	18,939	downflow gravity	2	50	16.30	7.92	8 x 30	COD 12 mg/l
6. Montgomery Cuonty, Maryland	227,273	upflow packed	1	30	6.5	7.92	8 x 30	BOD 1 mg/l COD 10 mg/l
7. Occoquan, Virginia	68,182	upflow packed	1	30	5.8	7.32	8 x 30	BOD 1 mg/l COD 10 mg/l
8. Orange County, California	56,818	upflow packed	1	30	5.8	7.32	8 x 30	COD 30 mg/l
9. Piscataway, Maryland	18,939	downflow pressure	2	37	6.5	9.75	8 x 30	BOD 5 mg/l
10. St. Charles, Missouri	20,833	downflow gravity	1	30	3.7	4.57	8 x 30	
11. South Lake Tathoe, California	28,409	upflow packed	1	17	6.2	4.27	8 x 30	BOD 5 mg/l COD 30 mg/l
12. Windhoek, South Africa	4,924	downflow pressure	2	30	3.8	4.57	12 x 40	COD 10 mg/l

a empty bed (superficial) contact time average plant flow.

ที่มา : ดัดแปลงจาก Chermisinoff และ Morresi (1978)

ตาราง 4 หน่วยบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับมลสาร

industry location	design flowrate (m^3/day)	organic contaminants	pretreatment	adsorption system		
				contact time (min)	adsorber type	carbon reactivation
1. carpet mill, British Columbia	189	dyes	screening		moving bed	none
2. textile mill, Virginia	227	dyes	filtration	57	moving bed	none
3. oil refinery, California	1,598	COD	equalization, oil flotation	60	gravity beds	multiple heart furnace
4. oil refinery, Pennsylvania	8,333	BOD	equalization, oil flotation, filtration		moving bed	multiple heart furnace
5. detergent, New Jersey	56	xylene, alcohole, TOC	none	540	downflow beds	multiple heart furnace
6. chemical, Alabama	1,894	phenolics, resin intermediates	chemical clarification	173	moving beds	multiple heart furnace
7.resins, New York	83	xylene, phenol-ice, resorcinol	chemical clarification	30	downflow beds	rotary klin
8. herbicide, Oregon	568	chlorophenol, cresol	none	105	upflow beds	multiple heart furnace
9. chemical, New York	57	phenol, COD	equalization	200	downflow beds	none
10. chemical, Texas	5,682	nitrated aromatics	activated sludge filtration	40	moving bed	rotary klin
11. chemical, New Jersey	379	polyols	equalization, clarification		moving bed	multiple heart furnace
12. explosives, Switzland	19	nitrated phenols	equalization	150	downflow beds	none
13. pharmaceutical, Switzland	95	phenols	equalization, pH adjusted settling	90	downflow beds	none
14. insecticide, England		chlorophenol	equalization, clarification		downflow beds	rotary klin
15. wood chemical, Mississippi	11,364	TOC	pH adjustment, flotation, filtration	50	moving bed	multiple heart furnace
16. dyestuffs, Pennsylvania	5,682	color, TOC	equalization, clarification, filtration	50	moving bed	multiple heart furnace

ที่มา : ดัดแปลงจาก Chermisinoff และ Morresi (1978)

ฝ่ายหอสมุด
คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

มลสารในปริมาณมากได้ดี อีกทั้งยังสามารถฟื้นสภาพหลังการใช้งานได้ (regeneration) (Ford, 1981) ข้อได้เปรียบที่สำคัญอีกประการของการถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดคือใช้บุคลากรในระบบงานน้อย (Huchins, 1981) สำหรับถ่านกัมมันต์ชนิดผงแม้จะมีราคาถูกกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด มีพื้นที่ผิวสูงกว่าและเกิดการดูดซับได้เร็ว (มั่นสิน ตันฑุลเวศน์, 2526) แต่การใช้งานถ่านกัมมันต์ชนิดผงมักเป็นไปในลักษณะการดูดซับแบบเททีละงวด (batch adsorption process) โดยใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้งซึ่งนอกจากจะไม่เป็นการประหยัดแล้วยังก่อให้เกิดปัญหาการกำจัดกากตะกอนอีกด้วย

2.7.1 สมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดที่เป็นตัวกำหนดในการใช้งาน

2.7.1.1 surface area เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมมีความสามารถในการดูดซับมาก

2.7.1.2 appearent density เป็นตัวกำหนดในการปรับคืนสภาพของถ่านกัมมันต์

2.7.1.3 bulk density เป็นตัวกำหนดปริมาณถ่านที่จะนำไปใช้งาน

2.7.1.4 effective size ใช้ในการกำหนดภาวะทางชลศาสตร์ของคอลัมน์สำหรับดูดซับ

2.7.1.5 pore volume เป็นตัวกำหนดการดูดซับโมเลกุล

2.7.1.6 sieve analysis เป็นตัวตรวจสอบขนาดของเม็ดถ่านที่จะนำมาใช้งาน

2.7.1.7 abrasion number ใช้ประเมินความคงทนต่อการขัดสี

2.7.1.8 ash percent แสดงถึงกากของถ่านกัมมันต์ว่ามีมากน้อยเพียงใด

2.7.1.9 moisture แสดงปริมาณน้ำในถ่านที่ได้จากการผลิต

2.7.1.10 iodine number เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

2.7.1.11 molasses number เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

2.7.1.12 tannin number เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่เกิดจากการย่อยละลายของพืช

2.7.1.13 phenol number เป็นตัววัดค่าความสามารถในการดูดซับกลิ่นและรสในสารละลาย

2.7.1.14 pore size เป็นตัวกำหนดค่าความสามารถในการดูดติดโมเลกุลจำเพาะบางชนิด (วิไลพร วณิชย์วโรดม, 2536)

2.7.2 ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในงานบำบัดน้ำทิ้งมี 3 แบบ คือ

2.7.2.1 แบบชั้นตรึง (fixed bed) ระบบดูดซับแบบนี้น้ำทิ้งไหลผ่านชั้นถ่านที่อยู่กับที่ โดยอาจเป็นไปในลักษณะปล่อยน้ำให้ไหลลงผ่านชั้นถ่าน ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่ดูดซับแล้วชั้นถ่านยังช่วยกรองของแข็งแขวนลอยด้วย หรืออาจเป็นการปล่อยน้ำไหลขึ้นผ่านชั้นถ่าน ซึ่งหากมีการเปลี่ยนถ่ายถ่านที่หมดประสิทธิภาพการทำงานออกทางด้านล่างของชั้นถ่านส่วนทางกับการไหลของน้ำ ก็จะสามารถดำเนินการดูดซับเป็นระบบต่อเนื่องโดยไม่ต้องหยุดการทำงานของระบบเพื่อเปลี่ยนถ่าน แต่การจะปล่อยน้ำไหลขึ้นผ่านชั้นถ่านความขุ่นของน้ำต้องมีค่าต่ำกว่า 2.5 Jackson Turbidity Units หรือมีค่าของแข็งแขวนลอยต่ำมากมิฉะนั้นจะเกิดการสูญเสียแรงดันน้ำ (Storm, 1981)

2.7.2.2 แบบชั้นเคลื่อนที่ (moving bed) ระบบดูดซับแบบนี้ใช้น้ำทิ้งไหลขึ้นพร้อมๆ กับเริ่มเกิดการดูดซับที่ส่วนล่างของชั้นถ่านซึ่งจะหมดสภาพก่อน ระบบนี้มักมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอ แต่ไม่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งเนื่องจากต้องมีระบบควบคุมเพื่อให้ถ่านกัมมันต์ไหลออกมาอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอทั่วผิวหน้าตัดของชั้นถ่าน

2.7.2.3 แบบฟลูอิดไดซ์เบด (fluidized bed) ระบบนี้ใช้น้ำทิ้งไหลขึ้นด้วยอัตราเร็วสูงมากพอที่จะทำให้เม็ดถ่านเกิดการแขวนลอยในระบบได้ แต่ต้องไม่ทำให้ เม็ดถ่านหลุดออกมาจากชั้นถ่าน ในการควบคุมระบบให้ใช้ได้ผลอย่างสม่ำเสมอควรมีการเติมเม็ดถ่านเข้าทางด้านบนของเม็ดถ่าน และถ่ายเม็ดถ่านที่เสื่อมประสิทธิภาพออกทางด้านล่าง ระบบนี้แม้จะเสียค่าใช้จ่ายมากกว่าแบบชั้นตรึงแต่สามารถรับน้ำเข้าได้มากกว่าและสามารถเลือกใช้เม็ดถ่านขนาดเล็กได้โดยปราศจากปัญหาการสูญเสียความดัน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

2.8 การฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์

เมื่อถ่านกัมมันต์หมดประสิทธิภาพการใช้งาน การฟื้นสภาพ (regenerate) ถ่านเพื่อนำมาใช้งานใหม่ กระทำโดยการกำจัดสารที่ถูกดูดซับไว้ออกจากโพรงของเม็ดถ่าน การฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ความร้อน, การใช้ตัวทำละลาย, ใช้กรด เบส หรือ แม้แต่การย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ สำหรับการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการ

ดูดซับมลสารในน้ำทิ้งมักกระทำโดยการใช้ความร้อน และอุปกรณ์ที่นิยมใช้คือเตาเผาแบบมัลติเพิลฮาร์ท (multiple-heart furnace) (ภาพประกอบ 6) ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

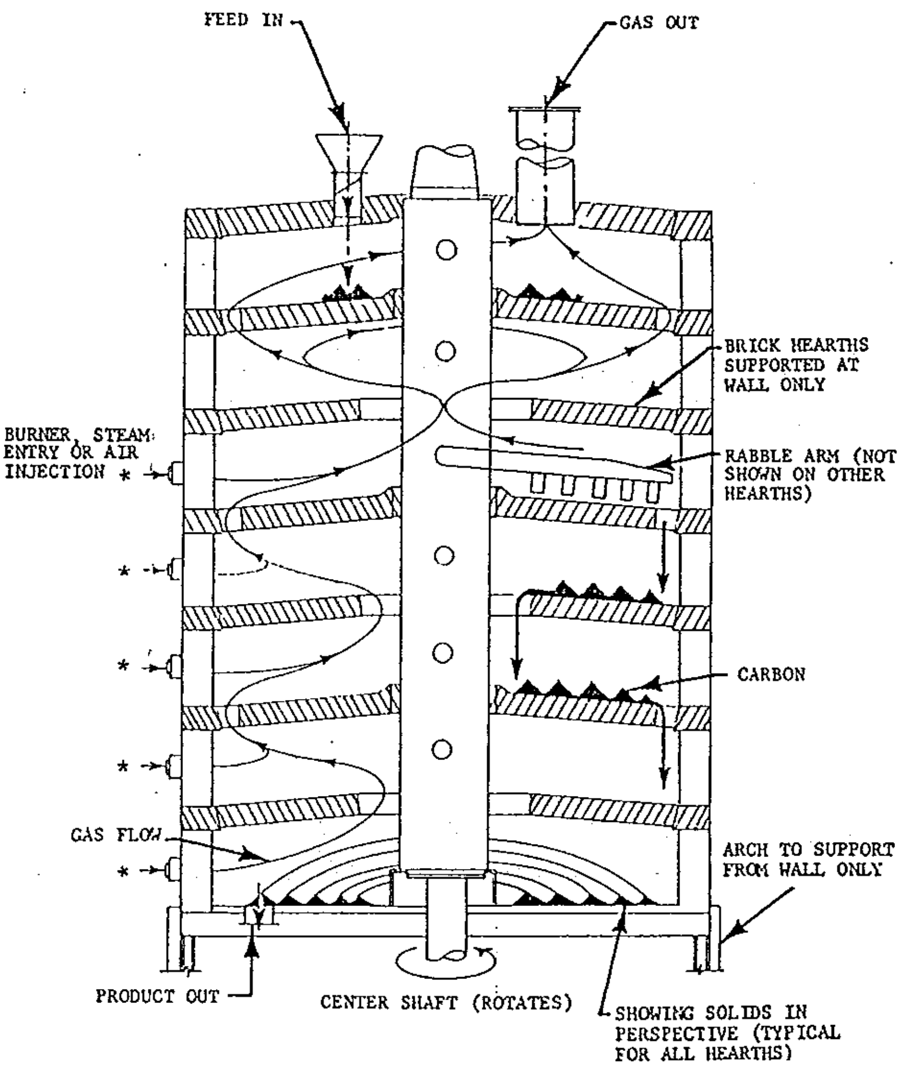
1. ทำแห้ง (drying) เป็นการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้น

2. เผาเพื่อให้เกิดการผกผันของการดูดซับ (thermal desorption) เป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100-260 องศาเซลเซียส เพื่อให้เม็ดถ่านคายสิ่งที่ถูก ดูดซับที่สามารถระเหยได้

3. เผาในสภาวะไร้อากาศ (pyrolysis and carbonization) กระทำที่อุณหภูมิ 204-649 องศาเซลเซียส เพื่อแปรสภาพสารที่ไม่ระเหยซึ่งยังคงค้างอยู่ให้กลายเป็นถ่าน

4. อบถ่านด้วยก๊าซ (gasification) เพื่อทำลายสิ่งที่อุดตันโพรงภายในเม็ดถ่านโดยการออกซิไดซ์ด้วยก๊าซที่ใช้ เช่น ไอน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 649-1,037 องศาเซลเซียส (Ford, 1981)

การฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์แม้จะได้เม็ดถ่านกลับมาใช้งานอีกครั้ง แต่จะทำให้โพรงภายในเม็ดถ่านขยายใหญ่ขึ้นและส่งผลให้พื้นที่ผิวภายในลดลง (Huchins, 1981) นอกจากนี้การฟื้นสภาพแต่ละครั้งจะสูญเสียถ่านประมาณร้อยละ 6 ของปริมาณเริ่มต้น (McGinnis, 1981)



ภาพประกอบ 6 multiple-heart furnace

ที่มา : vonDreusdhe (1981)

2.9 การศึกษาเพื่อการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ในระดับห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

2.9.1 การหาความสามารถในการดูดซับของถ่าน (adsorption capacity) มีจุดมุ่งหมายเพื่อคัดเลือกถ่านที่มีความเหมาะสมสำหรับดูดซับมลสารในน้ำทิ้ง วิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปคือการหา ไอโซเทิร์มการดูดซับ (adsorption isotherm)

ไอโซเทิร์มการดูดซับคือความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ กับความเข้มข้นของสารที่ยังเหลืออยู่ ณ จุดสมดุลของการดูดซับที่ระดับอุณหภูมิหนึ่งๆ ความสัมพันธ์ดังกล่าวเมื่อนำไปพลอตบนกระดาษกราฟ

ลอการิทึม โดยให้ความเข้มข้นของสารที่ยังเหลืออยู่เป็นแกนนอนและปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับอยู่ในแกนตั้ง เส้นซึ่งลากผ่านจุดที่พลอตได้คือเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับ สมการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้อธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวคือสมการของ Freundlich ซึ่งมีรูปสมการ คือ

$$X/M = kc^{1/n} \qquad \text{.................(1.1)}$$

หรือ $$\log X/M = \log k + (1/n) \log c \qquad \text{.................(1.2)}$$

เมื่อ X คือ ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ

M คือ น้ำหนักของถ่าน

c คือ ความเข้มข้นของสารที่เหลืออยู่

k,n คือ ค่าคงที่

กรณีที่ให้เส้นไอโซเทิร์มการดูดซับมีความชันสูงแสดงว่าการดูดซับ จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อสารที่ต้องการให้ถูกดูดซับมีความเข้มข้นสูงและเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับที่อยู่เหนือเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับเส้นอื่น ย่อมแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการดูดซับที่สูงกว่า (เสริมพล รัตนสุข, 2524)

การหาไอโซเทิร์มการดูดซับ กระทำโดยการนำผงถ่านที่บดละเอียดปริมาณต่างๆกัน มาเขย่าหรือกวนผสมกับน้ำที่มีสารที่ต้องการให้ถูกดูดซับเจือปนอยู่จนถึงจุดสมดุลของการดูดซับ จากนั้นจึงแยกผงถ่านออกเพื่อตรวจหาที่ต้องการให้ถูกดูดซับซึ่งยังคงเหลืออยู่ในน้ำ แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับกับความเข้มข้นของสารที่ยังเหลืออยู่ ผลการทดสอบที่ได้มักนำไปใช้เพื่อคัดเลือกถ่านที่มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน ถ่านที่คัดเลือกได้ดังกล่าวจะถูกนำไปทดสอบเพื่อหาค่าคงที่ที่จำเป็นสำหรับการออกแบบระบบดูดซับต่อไป

ข้อกำหนดในการหาไอโซเทิร์มการดูดซับ

1. ขนาดอนุภาคของถ่านกัมมันต์ เพื่อเร่งอัตราการดูดซับให้ถึงจุดสมดุลของการดูดซับเร็วขึ้น จะต้องบดถ่านที่นำมาทดสอบจนมีขนาดอนุภาคเล็กสามารถผ่านตะแกรง 325 เมช (mesh) ได้มากกว่าร้อยละ 95 (Bernadin, 1981 ; Wagner and Jula, 1981)

2. ปริมาณถ่านที่ใช้ อยู่ในช่วง 200-50,000 มิลลิกรัม/ลิตร อาจใช้ถ่านปริมาณต่างๆกัน 4-9 ระดับขึ้นอยู่กับความเหมาะสม (Bernadin, 1981)

3. อุณหภูมิขณะทดสอบต้องคงที่ และควรเป็นอุณหภูมิที่สอดคล้องกับอุณหภูมิในการใช้งานจริง (Wagner and Jula, 1981)

4. พีเอช เนื่องจาก พีเอชเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลค่อนข้างสูง ต่อการดูดซับมลสารด้วยถ่านจึงควรทดสอบหาไอโซเทิร์มการดูดซับ โดยใช้ระดับพีเอชต่างๆกัน (Bernadin, 1981 ; Hutchins, 1981 ; Wagner and Jula, 1981)

5. เครื่องมือที่ใช้ในการเขย่าหรือกวนผสม เพื่อให้ผงถ่านสัมผัสกับน้ำอย่างทั่วถึงและต่อเนื่อง เช่น wrist action shakers , magnetic stirrers และ ในกรณีที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิจะใช้ water bath plat form shakers (Wagner and Jula, 1981)

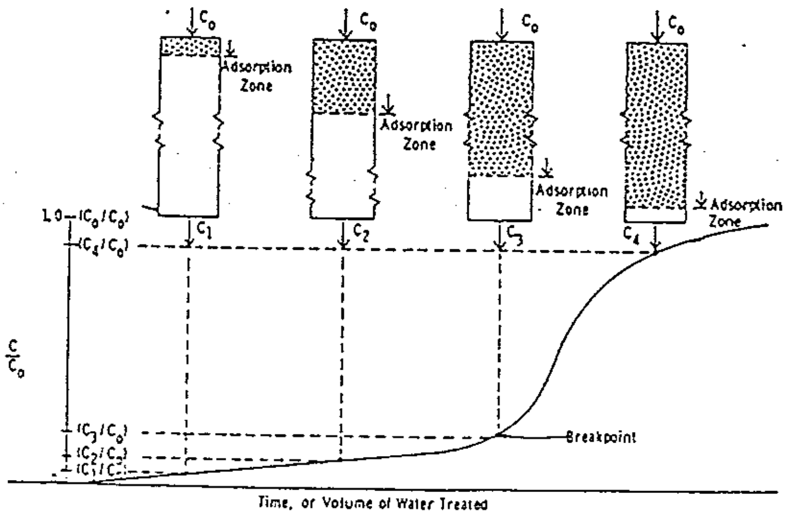
6. เวลาที่ใช้ในการทดสอบ ควรนานพอที่จะให้ถึงจุดสมดุลของการดูดซับ โดยทั่วไปจะใช้เวลาการทดสอบ 1-2 ชั่วโมง หรืออาจหาเวลาที่เหมาะสมได้โดยนำใช้ถ่านปริมาณต่ำสุดที่คาดว่าจะใช้ในการหาไอโซเทิร์มการดูดซับมาเขย่ากับน้ำทิ้ง แล้วตรวจหามลสารที่ต้องการให้ถูกดูดซับที่เวลาต่างๆ (Bernadin, 1981 ; Wagner and Jula, 1981)

7. การแยกผงถ่านออกจากน้ำภายหลังถึงจุดสมดุลของการดูดซับ โดยทั่วไปจะใช้การกรองผ่านเยื่อกรอง (membrane filter) ที่มีขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร (Bernadin, 1981 ; Hutchins, 1981 ; Wagner and Jula, 1981) หรือแยกโดยใช้เครื่องแยกเหวี่ยง (centrifugation) (Schuliger, 1978)

2.9.2 การศึกษาค่าคงที่สำหรับการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่าน

การศึกษาในขั้นนี้กระทำโดยการผ่านน้ำที่ต้องการทดสอบเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์อย่างต่อเนื่อง เมื่อน้ำไหลผ่านชั้นถ่านเม็ดถ่านชั้นบนจะหมดประสิทธิภาพในการดูดซับก่อน เม็ดถ่านที่หมดประสิทธิภาพจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามเวลาการใช้งานหรือปริมาณน้ำที่ไหลผ่านชั้นถ่าน และความเข้มข้นของสารที่ไม่ถูกดูดซับในน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดที่กำหนดไว้จุดนี้เรียกว่าเบรคพอยท์ (breakpoint) (ภาพประกอบ 7) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำทิ้งที่ผ่านชั้นถ่านหรืออายุการใช้งานกับความเข้มข้นของมลสารในน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านเรียกว่ากราฟเบรคทรู (breakthrough curve) เวลา

นับจากจุดเริ่มต้นการดูดซับจนถึงเบรคพอยท์เรียกว่า เวลา ณ เบรคพอยท์ (breakpoint time) หรือ ระยะเวลาใช้งาน (service time)



ภาพประกอบ 7 กราฟเบรคทรู

ที่มา : Weber (1981)

สมการที่ใช้อธิบายการทำงานของระบบดูดซับด้วยชั้นถ่านคือ Adams-Bohart equation (Bed Depth /Service Time equation) ซึ่งมีรูปสมการ คือ

$$t = \frac{N_0 D}{C_0 v} - \frac{1}{KC_0}\left[\ln\left[\frac{C_0}{C_B} - 1\right]\right] \qquad \text{................(1.3)}$$

เมื่อ t คือ ระยะเวลาใช้งาน

D คือ ความสูงของชั้นถ่าน

N_0 คือ ประสิทธิภาพการดูดซับ

C_0 คือ ความเข้มข้นของสารที่เข้าสู่ชั้นถ่าน

C_B คือ ความเข้มข้นของสารที่ออกจากชั้นถ่าน ณ เบรคพอยท์

v คือ อัตราเร็วน้ำล้นผิว

K คือ อัตราการดูดซับ

และถ้า t = 0 จะทำให้

$$D = \frac{v}{KN_0} \ln \left[\frac{C_0}{C_B} - 1 \right] \quad ....(1.4)$$

ในกรณีนี้ D คือความสูงของชั้นถ่านที่จะทำให้ค่า C_0 ลดลงเท่ากับ C_B ในทันที เรียกความสูงของชั้นถ่านที่ระดับนี้ว่าความสูงวิกฤติใช้สัญลักษณ์ D_0 (Hutchins, 1973)

สำหรับการศึกษาอายุการใช้งานของถ่านและการศึกษาค่าคงที่สำหรับการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่าน โดยอาศัยแบบจำลองการดูดซับมีข้อกำหนดดังนี้

1. ขนาดของแบบจำลอง คอลัมน์ของแบบจำลองที่ใช้ในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการโดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.54 - 30 เซนติเมตร ชั้นถ่านที่บรรจุในคอลัมน์มีความสูง 0.5-2 เมตร (Schuliger, 1978) ในกรณีที่คอลัมน์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า 2.54 - 3.81 เซนติเมตร อัตราน้ำล้นผิวที่ใช้ในการทดสอบไม่ควรเกิน 6.11 - 8.15 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที เพราะอาจทำให้เกิดปัญหาแรงต้านการไหลจากผนังคอลัมน์ (Huchins, 1973)

2. ระยะเวลาที่น้ำสัมผัสชั้นถ่าน (resisdence time) ในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการใช้ระยะเวลาที่น้ำสัมผัสชั้นถ่านตั้งแต่ 15-120 นาที (Wegner and Jula, 1981)

3. อัตราน้ำล้นผิว (overflow rate) เพื่อป้องกันปัญหาจากแรงต้านการไหลจากผนังคอลัมน์ อัตราน้ำล้นผิวที่ใช้ในการทดสอบระดับห้องปฏิบัติการจึงไม่สูงมากนัก ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 2.04 - 16.30 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (Wegner and Jula, 1981) อย่างไรก็ตามในการใช้งานถ่านกัมมันต์เพื่อการดูดซับมลสารในน้ำทิ้งจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม อัตราน้ำล้นผิวจะอยู่ในช่วง 1.63-52.59 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (Schuliger, 1978)

4. การปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนเข้าสู่ระบบ (pretreatment) ในกระบวนการดูดซับมลสารจากน้ำทิ้งด้วยถ่านกัมมันต์โดยเฉพาะน้ำทิ้งที่มีปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้สูง ย่อมมีความเป็นไปได้เป็นอย่างมากที่จะมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศในคอลัมน์ ขณะเดียวกันมลสารในรูปสารแขวนลอยยังอาจทำให้เกิดการอุดตันของคอลัมน์ ดังนั้นจึงควรกำจัดมลสารทั้งในรูปสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายออกก่อนที่น้ำทิ้งจะผ่านเข้าสู่ระบบดูดซับซึ่งอาจทำได้โดยการกรอง (Schuliger,

1978) เพื่อให้ปริมาณสารแขวนลอยต่ำกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร (Rebis, 1981) นอกจากนี้การเพิ่มออกซิเจนในน้ำที่จะเข้าสู่ระบบยังมีส่วนช่วยชลอการเจริญของซัลไฟด์แบคทีเรีย รวมถึงจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศประเภทอื่น ซึ่งอาจทำให้น้ำที่ออกจากระบบมีกลิ่น สี และรสผิดปกติ (Ford, 1978) ในขณะดำเนินการทดสอบควรมีการตรวจวัด พีเอช ออกซิเจนละลายน้ำของแข็งแขวนลอย การลดลงของความดันน้ำในคอลัมน์หรือปัจจัยอื่นๆ เพื่อประเมินสภาพปัญหาอันอาจเกิดจากการเจริญของจุลินทรีย์ (Bernadin, 1981) สำหรับพีเอชของน้ำที่เข้าสู่ระบบควรปรับให้สอดคล้องกับระดับที่เหมาะสมกับพีเอช ซึ่งพิจารณาได้จากการทำไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอชต่างๆ (Schuliger, 1978)

5. การเตรียมถ่านที่จะใช้ในการทดสอบ การนำถ่านกัมมันต์มาใช้โดยไม่ได้ไล่อากาศที่อยู่ในโพรงของเม็ดถ่าน เป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านลดลงกล่าวคือ

- ความดันของน้ำที่ไหลผ่านชั้นถ่านลดลงมากกว่าปกติ
- พื้นที่ผิวที่สามารถดูดซับมลสารลดลง
- น้ำบางส่วนแทรกตัวผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดถ่าน จนทำให้เกิดโพรงขนาดใหญ่ในชั้นถ่าน (channeling)

ดังนั้นก่อนการใช้งานจึงควรแช่เม็ดถ่านให้อิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งจะใช้ระยะเวลานานเพียงใดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิขณะดำเนินการแช่เม็ดถ่าน (ตาราง 5)

ตาราง 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้แช่เม็ดถ่านให้อิ่มตัวด้วยน้ำ

อุณหภูมิน้ำแช่ถ่าน	เวลาที่ใช้เพื่อแช่ถ่านให้ถ่านชุ่มน้ำ 90%
25 องศาเซลเซียส	2-3 วัน
100 องศาเซลเซียส	2-3 ชั่วโมง
1,000 องศาเซลเซียส	ทันทีที่แช่

ที่มา : Ford (1978)

6.อุณหภูมิ อุณหภูมิขณะดำเนินการทดสอบควรคงที่และสอดคล้องกับอุณหภูมิตามสภาพการใช้งานจริง (Schuliger, 1978)

3. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับซีโอดี ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดจากบริษัทผู้ผลิตรายต่างๆ

2. เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับซีโอดี ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ระดับพีเอชต่างๆ

3. เพื่อหาค่าคงที่สำหรับใช้ในการออกแบบระบบดูดซับในชั้นตรึงกรณีการดูดซับ ซีโอดี ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ยังไม่ผ่าน การใช้งาน และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วนำมาฟื้นสภาพ

4. เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มก่อนและหลังการปรับปรุง คุณภาพด้วยกระบวนการดูดซับในชั้นตรึง กรณีใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดที่ยังไม่ผ่าน การใช้งาน และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วนำมาฟื้นสภาพเป็นสารดูดซับ

5. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับซีโอดี และสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมัน ปาล์ม กรณีใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพหลายครั้งเป็นสารดูดซับ

6. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับซีโอดี และสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมัน ปาล์ม กรณีใช้ถ่านที่ไม่ผ่านการกระตุ้นเป็นสารดูดซับ

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับ ในชั้นตรึง เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยคาดหวังว่า เมื่อปล่อยน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการดังกล่าว ออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะไม่ก่อให้เกิดผลเสียหายร้ายแรงต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม หรืออาจนำน้ำดังกล่าวมาหมุนเวียนใช้ในกิจกรรมบางประเภทของโรงงานได้

5. ขอบเขตของการวิจัย

5.1 ตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ ซึ่งเป็นการบำบัดขั้นที่ 2 (secondary treatment)

5.2 ถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้ในการศึกษาเป็นถ่านกัมมันต์ซึ่งถูกผลิตขึ้นในเชิงพานิชย์โดยบริษัทผู้ผลิตรายต่างๆ

5.3 การศึกษาความสามารถของถ่านกัมมันต์ ในการดูดซับมลพิษในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มพิจารณาจากการทำไอโซเทิร์มการดูดซับซีโอดี

5.4 การศึกษาค่าคงที่สำหรับการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ตลอดจนคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ กระทำโดยการสร้างแบบจำลองและดำเนินการเป็นระบบต่อเนื่อง ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาคือค่าซีโอดี

5.5 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มกรณีใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพหลายครั้งเป็นสารดูดซับและใช้ถ่านที่ไม่ผ่านการกระตุ้นเป็นสารดูดซับ กระทำโดยการสร้างแบบจำลองและดำเนินการเป็นระบบต่อเนื่อง

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

1. วัสดุ

1.1 ตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อบำบัด ของโรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด 258 ถ.อ่าวลึก-แหลมสัก หมู่ที่ 2 ต.อ่าวลึกใต้ อ.อ่าวลึก จ.กระบี่

1.2 ถ่านกัมมันต์จากบริษัทผู้ผลิตรายต่างๆ ได้แก่

1.2.1 coal based activated carbon บริษัท Metra ประเทศเยอรมัน

1.2.2 coal based activated carbon บริษัท Hydrodraco ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.2.3 coal based activated carbon บริษัท Carbokarn ประเทศไทย

1.2.4 coconut based activated carbon บริษัท Carbokarn ประเทศไทย

1.2.5 wood based activated carbon บริษัท Carbokarn ประเทศไทย

1.2.6 coal based activated carbon บริษัท C Gigantic Carbon ประเทศไทย

1.3 ถ่านกะลาปาล์มและถ่านไม้สำหรับหุงต้ม

1.4 สารส้ม (aluminium sulfate) ระดับการค้า (commercial grade) สำหรับใช้เป็นสารตกตะกอน

1.5 สารเคมีคุณภาพระดับวิเคราะห์ (ระบุในภาคผนวก ก)

2. อุปกรณ์

2.1 อุปกรณ์เก็บน้ำตัวอย่าง

2.1.2 แกลลอนพลาสติกความจุ 30 ลิตร

2.1.2 ถังพลาสติกมีฝาปิดความจุ 120 ลิตร

2.2 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

2.2.1 pH meter ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI 8314

2.2.2 incubater ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Hotpack รุ่น 352602

2.2.3 ตู้อบ ยี่ห้อ Contherm รุ่น 240 M

2.2.4 โถดูดความชื้น

2.2.5 water bath ยี่ห้อ Memert รุ่น WB 45

2.2.6 เครื่องชั่งแบบละเอียด 0.01 กรัม ยี่ห้อ Metler toledo รุ่น PB 1502

2.2.7 เครื่องชั่งแบบละเอียด 0.0001 กรัม ยี่ห้อ Metler toledo รุ่น AB 204

2.2.8 reflux apparatus

2.2.9 เครื่องแยกเหวี่ยงความเร็วสูง ยี่ห้อ Sorvall รุ่น RT 7

2.2.10 spectrophotometer ยี่ห้อ Shimadsu รุ่น UV-1601 ของ

2.2.11 เครื่องแก้วต่างๆ

2.3 อุปกรณ์สำหรับศึกษาความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากไอโซเทิร์มการดูดซับ

2.3.1 อุปกรณ์เตรียมตัวอย่างถ่านกัมมันต์

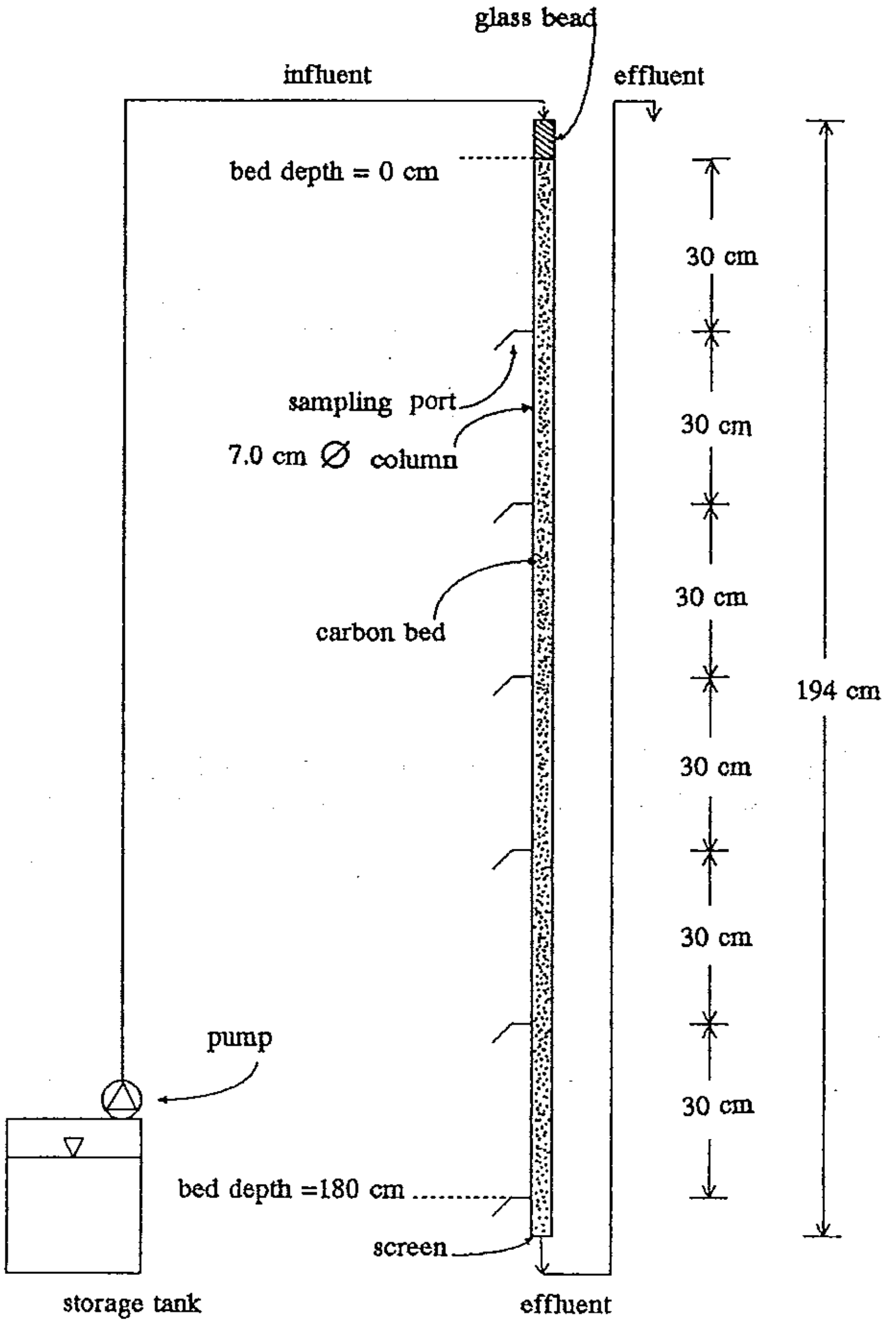
- เครื่องบดชนิด ball mill ยี่ห้อ Passcal engineering รุ่น 22419
- laboratory test sieve ขนาด 395 mesh ยี่ห้อ Retsch

2.3.2 เครื่องเขย่า ยี่ห้อ D.S. instrument รุ่น DSR-2800A

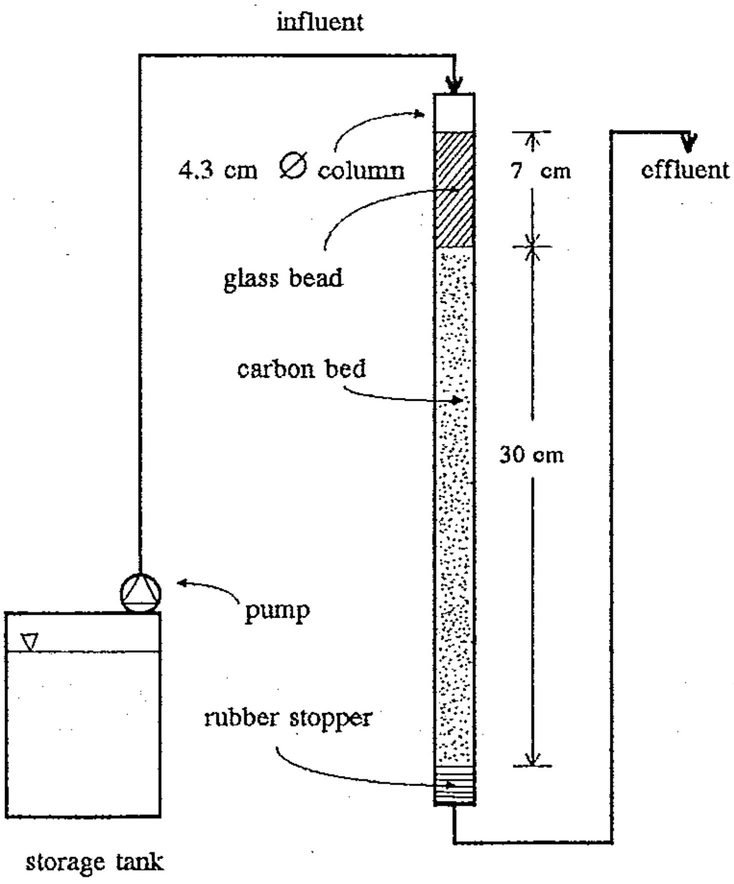
2.4 แบบจำลองระบบดูดซับ

2.4.1 แบบจำลองสำหรับหาค่าคงที่ของระบบดูดซับในชั้นตรึง (ภาพประกอบ 8) มีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ ท่อพลาสติกเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7.0 เซนติเมตร peristaltic pumpdrive รุ่น 7521-47 และ head pump รุ่น 7518-60 ยี่ห้อ Masterflex

2.4.2 แบบจำลองสำหรับศึกษาความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพมากกว่า 1 ครั้ง (ภาพประกอบ 9) มีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ ท่อพลาสติกเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4.3 เซนติเมตร และ peristaltic pump ยี่ห้อ Eyela รุ่น MP-3



ภาพประกอบ 8 รายละเอียดแบบจำลองระบบดูดซับสำหรับหาค่าคงที่ของระบบดูดซับในชั้นตรึง



ภาพประกอบ 9 รายละเอียดแบบจำลองที่ใช้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับซีโอดี และสีของถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพมากกว่า 1 ครั้ง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิเคราะห์สมบัติของตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ โดยใช้วิธีดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 วิธีวิเคราะห์สมบัติของตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
พีเอช	ใช้ pH meter
ความเป็นด่าง	Direct Titration Method *
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	Gravimetric Method*
ของแข็งละลายได้ทั้งหมด	Dried at 180 °C Method *
ซีโอดี	Dicromate Digestion Method **
บีโอดี	Azide Modification Method *

* Ref : (APHA, AWWA and WEF, 1992)

** Ref : (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2525)

3.2 การหาความสามารถในการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากบริษัทผู้ผลิตรายต่างๆ

3.2.1 ล้างตัวอย่างถ่านด้วยน้ำกลั่นและกรดซัลฟุริกเจือจางแล้วอบให้แห้ง

3.2.2 เตรียมถ่านโดยบดตัวอย่างถ่านให้ละเอียดจนสามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช ได้มากกว่าร้อยละ 95 จากนั้นจึงนำผงถ่านไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.2.3 เติมน้ำตัวอย่างลงในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร 6 ใบ ใบละ 100 มิลลิลิตร แล้วเติมผงถ่านลงในขวด ให้มีปริมาณถ่าน 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 และ 1 กรัม ตามลำดับ ปรับพีเอชของของผสมระหว่างน้ำเสียและผงถ่านให้อยู่ในระดับเดียวกับพีเอชของน้ำเสียด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือสารละลายกรดซัลฟุริกเจือจาง แล้วเขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 1 ชั่วโมง

3.2.4 แยกผงถ่านออกโดยกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วจึงกรองส่วนใสที่ได้ผ่านเยื่อกรองขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร อีกครั้ง

3.2.5 วิเคราะห์ค่าซีโอดีในน้ำที่แยกผงถ่านออกแล้ว จากนั้นจึงหาไอโซเทิร์มการดูดซับโดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง c (ความเข้มข้นของซีโอดีที่เหลือ) กับ X/M (น้ำหนักซีโอดีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์) บนกระดาษกราฟลอการิทึม

3.2.6 จากไอโซเทิร์มการดูดซับที่ได้ พิจารณาหาถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการดูดซับซีโอดี ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

3.3 การหาความสามารถในการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ระดับพีเอชต่างๆ

3.3.1 จากการพิจารณาหาถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในข้อ 3.1.6 นำตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่ได้รับการพิจารณามาอบและบดตามวิธีการในข้อ 3.1.1 และ 3.1.2

3.3.2 เตรียมตัวอย่างน้ำที่ระดับพีเอช 6, 7, 8 และ ระดับพีเอชของน้ำเสีย ซึ่งน้ำตัวอย่างที่ระดับพีเอช 6, 7, 8 เตรียมโดยการปรับพีเอช ด้วยกรดซัลฟุริกเจือจาง

3.3.3 เติมน้ำตัวอย่างระดับพีเอชหนึ่งๆ ลงในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร 6 ใบ ใบละ 100 มิลลิลิตร แล้วใส่ผงถ่านในข้อ 3.2.1 ลงในขวดให้มี ปริมาณถ่าน 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 และ 1 กรัม ตามลำดับ เขย่าของผสมระหว่างน้ำและ ผงถ่านด้วยเครื่องเขย่า นาน 1 ชั่วโมง ขณะทำการเขย่าควบคุมพีเอชของของผสมให้อยู่ในระดับเดียวกับระดับพีเอชของน้ำที่ปรับไว้ตามข้อ 3.2.2 โดยใช้กรดซัลฟุริกเจือจางหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง

3.3.4 แยกผงถ่านออกโดยกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วจึงกรองส่วนใสที่ได้ผ่านเยื่อกรองขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร อีกครั้ง

3.3.5 วิเคราะห์ค่าซีโอดีในน้ำที่แยกผงถ่านออก แล้วหาไอโซเทิร์มการดูดซับโดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง c (ความเข้มข้นของซีโอดีที่เหลือ) กับ X/M (น้ำหนักซีโอดีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์) บนกระดาษกราฟลอการิทึม

3.3.6 พิจารณาหาระดับพีเอชที่เอื้ออำนวยต่อการดูดซับซีโอดีในน้ำจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

3.4 หาค่าคงที่สำหรับการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่าน

3.4.1 ใช้กรดซัลฟุริกเจือจางและน้ำกลั่นล้างถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับซีโอดี ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งพิจารณาได้จากข้อ 3.1.6 แล้วแช่ถ่านในน้ำกลั่นเพื่อให้ถ่านอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อถ่านอิ่มตัวด้วยน้ำจึงบรรจุถ่านลงในแบบจำลอง (ภาพประกอบ 10)

ภาพประกอบ 10 แบบจำลองระบบดูดซับที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

3.4.2 ปรับพีเอชของตัวอย่างน้ำด้วยกรดซัลฟุริกเจือจาง หรือสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์เจือจาง เพื่อให้ระดับพีเอช ของตัวอย่างน้ำเอื้ออำนวยต่อการดูดซับ

3.4.3 ปล่อยน้ำทิ้งที่ปรับพีเอชแล้วเข้าสู่แบบจำลอง ด้วยอัตราน้ำล้นผิวคงที่ 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที เก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านชั้นถ่านระดับความลึกต่างๆ ตามช่วงเวลาดังแสดงในตาราง 7 แล้ววิเคราะห์ค่าซีโอดีในน้ำตัวอย่างที่เก็บได้

3.4.4 เริ่มทำการทดลองตามข้อ 3.3.1-3.3.4 โดยเปลี่ยนอัตราน้ำล้นผิวเป็น 4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที, 8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที และ 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที กำหนดช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านชั้นถ่านที่ระดับตามสูงต่างๆของชั้นถ่านดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านชั้นถ่านที่ระดับตามสูงต่างๆของชั้นถ่าน

ความลึกของชั้นถ่าน (เซนติเมตร)	ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที/ครั้ง)			
	2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที	4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที	8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที	16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที
30	15	8	4	2
60	30	15	8	4
90	45	22	11	6
120	60	30	15	8
150	75	37	19	9
180	90	45	22	11

3.4.5 ที่อัตราน้ำล้นผิวแต่ละระดับเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดี ที่เหลือในน้ำทิ้งที่ไหลผ่านชั้นถ่านระดับความลึกต่างๆเพื่อหาระยะเวลาใช้งาน

3.4.6 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาใช้งานกับความลึกของชั้นถ่าน สำหรับอัตราน้ำล้นผิวแต่ละระดับ เพื่อหาค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ซึ่งได้แก่ N_0 , K และ D_0

เมื่อ ความชันของเส้นกราฟ $= \dfrac{N_0}{C_0 v}$ ....(2.1)

จุดตัดแกน Y $= \dfrac{v}{KC_0} \ln \left[\dfrac{C_0}{C_B} - 1 \right]$ ....(2.2)

$$D_0 = \frac{v}{KN_0} \ln \left[\frac{C_0}{C_B} - 1 \right] \quad ....(2.3)$$

3.5 ประเมินมูลค่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในกระบวนการดูดซับ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆเพื่อพิจารณาหาถ่านกัมมันต์และอัตราน้ำล้นผิวที่เหมาะสมสำหรับระบบดูดซับแบบต่อเนื่อง

3.6 ประเมินคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ก่อนและหลังผ่านการดูดซับในชั้นถ่านกัมมันต์โดยวิเคราะห์สมบัติน้ำที่เข้าและออกจากระบบตามวิธีดังแสดงในตาราง 8 ทั้งนี้จะเก็บตัวอย่างน้ำที่ออกจากระบบที่ระดับความลึกของชั้นถ่าน 187 เซนติเมตร และเมื่อน้ำผ่านเข้าสู่ระบบด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆกันจะใช้ความถี่ในการเก็บตัวอย่างดังนี้

- อัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที เก็บตัวอย่างทุกช่วง 120 นาที
- อัตราน้ำล้นผิว 4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที เก็บตัวอย่างทุกช่วง 60 นาที
- อัตราน้ำล้นผิว 8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที เก็บตัวอย่างทุกช่วง 30 นาที
- อัตราน้ำล้นผิว 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที เก็บตัวอย่างทุกช่วง 15 นาที

ตาราง 8 วิธีการวิเคราะห์สมบัติน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม ก่อนและหลังการดูดซับด้วยถ่าน

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
พีเอช	ใช้ pH meter
สี	Platinum Cobalt Standard Method ***
ความเป็นด่าง	Direct Titration Method *
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	Gravimetric Method*
ของแข็งละลายได้ทั้งหมด	Dried at 180 °C Method *
ซีโอดี	Dicromate Digestion Method **
บีโอดี	Azide Modification Method *
เจลดาห์ลไนโตรเจนทั้งหมด	Kjeldahl Method *
แอมโมเนียไนโตรเจน	Nesslerization Method *
สารริดิวซ์โฟลินส์ฟีนอล	Spectrophotometric Method *

* Ref : (APHA, AWWA and WEF, 1992)

** Ref : (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2525)

*** Ref : (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ อุษา วิเศษสุมน, 2535)

3.7 นำถ่านกะลาปาล์มและถ่านไม้สำหรับหุงต้มมาใช้ดูดซับซีโอดีและสี ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

3.7.1 บดถ่านกะลาปาล์มและถ่านไม้สำหรับหุงต้ม แล้วร่อนเพื่อคัดให้ได้เม็ดถ่านขนาด 8 x 30 เมช

3.7.2 ใช้กรดซัลฟุริกเจือจางและน้ำกลั่นล้างถ่านที่บดและร่อนคัดขนาดแล้ว จากนั้นจึงแช่ถ่านในน้ำกลั่นเพื่อให้ถ่านอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อถ่านอิ่มตัวด้วยน้ำจึงบรรจุถ่านลงในแบบจำลอง (ภาพประกอบ 10)

3.7.3 ปรับพีเอชของตัวอย่างน้ำด้วยกรดซัลฟุริกเจือจางหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง เพื่อให้ระดับพีเอช ของตัวอย่างน้ำเอื้ออำนวยต่อการดูดซับ

3.7.4 ปล่อยน้ำทิ้งที่ปรับพีเอชแล้วเข้าสู่แบบจำลองด้วยอัตราน้ำล้นผิวคงที่ 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที เก็บตัวอย่างน้ำที่ออกจากระบบในทุกช่วงเวลา 30-45 นาที

3.7.5 วิเคราะห์ค่าซีโอดีและสีในตัวอย่างน้ำที่เข้าสู่ระบบ และตัวอย่างน้ำที่ออกจากระบบ

3.7.6 ประเมินคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มก่อนและหลังผ่านการดูดซับด้วยชั้นถ่าน โดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีและสีในตัวอย่างน้ำที่เข้าสู่ระบบและตัวอย่างน้ำที่ออกจากระบบ

3.8 ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพดูดซับมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

3.8.1 นำถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในระบบดูดซับแบบต่อเนื่อง ซึ่งผ่านการใช้งานจากข้อ 3.4 มาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ผิวภายนอกของเม็ดถ่านแห้งและเม็ดถ่านไม่เกาะตัวกัน จากนั้นจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

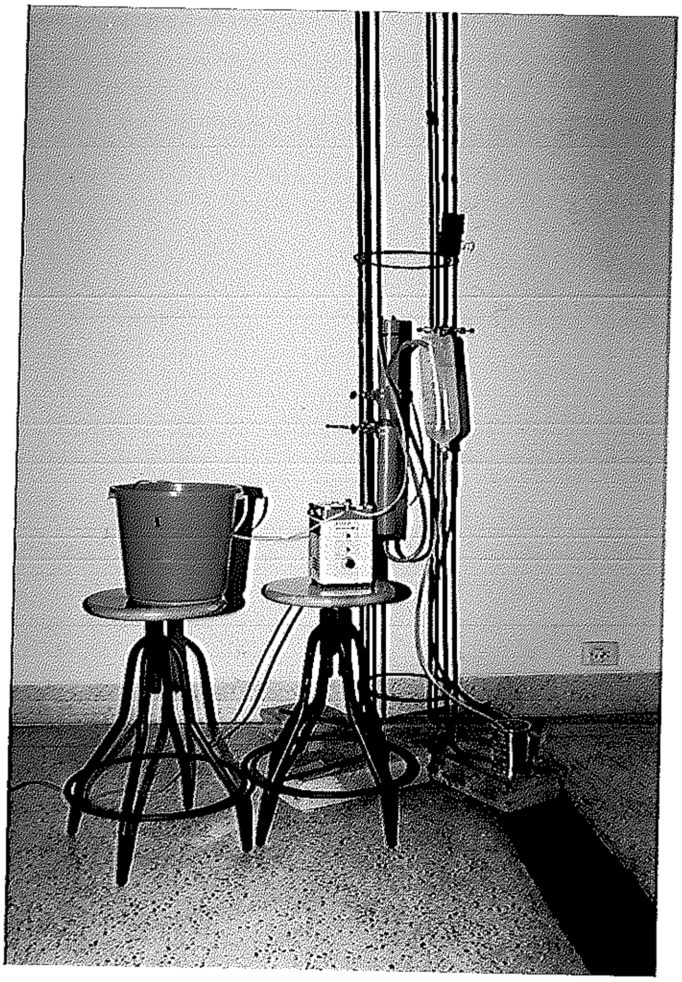
3.8.2 ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.4 แต่ผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวที่เหมาะสมซึ่งพิจารณาได้จากข้อ 3.5

3.8.3 ประเมินคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ก่อนและหลังผ่านการดูดซับในชั้นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพ โดยวิเคราะห์สมบัติน้ำที่เข้าและออกจากระบบตามวิธีดังแสดงในตาราง 8 ทั้งนี้จะเก็บตัวอย่างน้ำที่ออกจากระบบที่ระดับความลึกของชั้นถ่าน 187 เซนติเมตร ในทุกช่วงเวลา 120 นาที

3.9 ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพมากกว่า 1 ครั้ง ดูดซับซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

3.9.1 นำถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในระบบดูดซับซึ่งพิจารณาได้จากข้อ 3.5 มาล้างโดยใช้กรดซัลฟุริกเจือจางและน้ำกลั่น จากนั้นจึงแช่ถ่านในน้ำกลั่นเพื่อให้ถ่านอิ่มตัวด้วยน้ำ

3.9.2 บรรจุถ่านที่อิ่มตัวด้วยน้ำลงในแบบจำลอง (ภาพประกอบ 11) จนได้ชั้นถ่านสูง 30 เซนติเมตร



ภาพประกอบ 11 แบบจำลองที่ใช้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับซีโอดีและสีของถ่านกัมมันต์ ที่ถูกฟื้นสภาพมากกว่า 1 ครั้ง

3.9.3 ผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 1.17 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที เป็นเวลา 150 นาที โดยเก็บตัวอย่างน้ำที่ออกจากระบบทุกช่วง 25 นาที

3.9.4 วิเคราะห์ค่าสีและซีโอดีในน้ำที่เข้าสู่ระบบ และตัวอย่างน้ำที่ออกจากระบบในช่วงเวลาต่างๆ

3.9.5 นำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานในข้อ 3.9.3 มาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.9.6 ดำเนินการตามข้อ 3.9.1 - 3.9.5 อีก 10 ครั้ง กรณีที่บรรจุถ่านกัมมันต์ซึ่งถูกฟื้นสภาพลงในแบบจำลองแล้วได้ชั้นถ่านที่มีความลึกไม่ถึง 30 เซนติเมตร จะเติมถ่านกัมมันต์ซึ่งยังไม่ผ่านการใช้งานจนชั้นถ่านสูง 30 เซนติเมตร

3.10 ใช้สารส้มตกตะกอนซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

3.10.1 เตรียมสารละลายสารส้มความเข้มข้น 100 กรัม/ลิตร

3.10.2 เติมสารละลายสารส้มที่เตรียมไว้ ลงในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มปริมาตร 500 มิลลิลิตร เพื่อให้มีความเข้มข้นของสารส้มในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัม/ลิตร แล้วปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.5 - 7

3.10.3 กวนน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผสมสารส้มด้วยแท่งแม่เหล็ก (magnetic bar) โดยกวนเร็ว 30 วินาที กวนช้า 20 นาที แล้วทิ้งให้ตกตะกอน 2 ชั่วโมง

3.10.4 นำส่วนใสมาวิเคราะห์หาซีโอดีและค่าสี

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผล

1. การวิเคราะห์สมบัติของตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

การวิเคราะห์สมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพเพื่อประเมินคุณภาพและพิจารณาหาตัวอย่างน้ำที่จะนำมาใช้ในการทดลองขั้นต่อไปใช้น้ำทิ้งจากบ่อที่ 14b ซึ่งเป็นบ่อบำบัดสุดท้ายของโรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด นอกจากนี้ยังได้นำน้ำจากบ่อที่ 9 มาทำการวิเคราะห์ด้วย เนื่องจาก ในปี พ.ศ. 2539 โรงงานได้ว่าจ้างบริษัทเชียงใหม่อะควาซิสเต็มส์ จำกัด ให้ทำการทดลองบำบัดน้ำในบ่อที่ 9 ในระดับโครงการนำร่อง (pilot scale plant) โดยเป็นการทดลองที่ใช้สารตกตะกอนร่วมกับการกรอง จึงอาจมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำน้ำในบ่อบำบัดที่ 9 มาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป (ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตาราง 9)

ตาราง 9 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งโรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด

วันที่เก็บตัวอย่าง	บ่อที่	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก.แคลเซียม-คาร์บอเนต/ล.)*	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)*	ของแข็งละลายได้ (มก./ล.)*	บีโอดี (มก./ล.)*	ซีโอดี (มก./ล.)*
8 ต.ค. 2539	9	8.32	2,178	166	3,247	64.92	1,201.90
	14b	9.11	1,211	55	2,770	18.40	452.80
11 เม.ย. 2540	9	9.11	1,848	142	5,475	81.00	888.16
	14b	9.45	977	15	2,142	7.81	308.88

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

จากข้อมูลดังแสดงในตาราง 9 พบว่าน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดที่ 9 มีค่าพีเอช บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และของแข็งละลายได้ทั้งหมด สูงเกินเกณฑ์

ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ข) สำหรับน้ำจากบ่อบำบัดที่ 14b แม้ว่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยทั้งหมดจะมีค่าต่ำ แต่ซีโอดีตลอดจนของแข็งละลายได้ทั้งหมดยังมีค่าอยู่ในเกณฑ์สูงและมีพีเอชสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กรณีของค่าความเป็นด่างแม้จะไม่มีเกณฑ์กำหนดสำหรับน้ำทิ้งที่จะระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่น้ำในบ่อบำบัดที่ 9 และ 14b นับว่ามีค่าความเป็นด่างสูงซึ่งจะทำให้การปรับลดพีเอชกระทำได้ยาก

สุพัตรา เฉลียวพงศ์ (2540) พบว่าความเป็นด่างในระบบบ่อบำบัดสามารถคำนวณได้จาก

$$
\begin{aligned}
[Alk] = {} & \{[HCO_3^-]-[\mathit{HCO_3^-}]_f\} + 2\{[CO_3^{2-}]-[\mathit{CO_3^{2-}}]_f\} + \{[Ac^-]-[\mathit{Ac^-}]_f\} \\
& + \{[HS^-]-[\mathit{HS^-}]_f\} + 2\{[S^{2-}]-[\mathit{S^{2-}}]_f\} + \{[H_2PO_4^-]-[\mathit{H_2PO_4^-}]_f\} \\
& + 2\{[HPO_4^{2-}]-[\mathit{HPO_4^{2-}}]_f\} + 3\{[PO_4^{3-}]-[\mathit{PO_4^{3-}}]_f\} + \{[NH_3]-[\mathit{NH_3}]_f\} \\
& + \{[OH^-]-[\mathit{OH^-}]_f\} - \{[H^+]-[\mathit{H^+}]_f\} \qquad \text{.............(3.1.1)}
\end{aligned}
$$

เมื่อ [....] คือ ความเข้มข้นของอิออนในน้ำตัวอย่าง

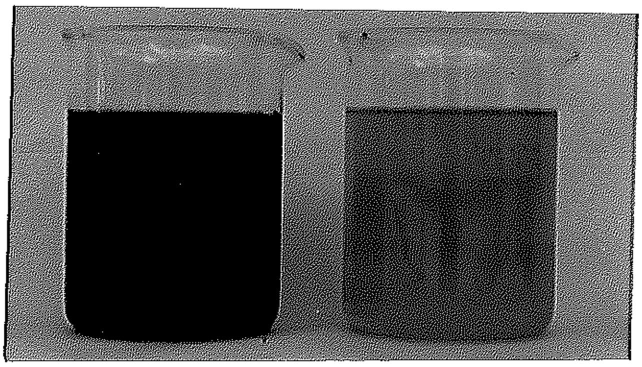
$[....]_f$ คือ ความเข้มข้นของอิออนในน้ำตัวอย่างภายหลังการไทเทรตด้วยกรดจนถึงพีเอช 4

จากสมการข้างต้นแสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นด่างจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอิออนลบและไฮโดรเจนอิออน ในกรณีของตัวอย่างน้ำจากบ่อบำบัดที่ 9 ซึ่งเก็บในวันที่ 8 ตุลาคม 2539 น้ำดังกล่าวมีค่าความเป็นด่างสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างน้ำที่เก็บมาทดสอบทั้งหมดแต่กลับมีค่าพีเอชต่ำที่สุด อาจเป็นไปได้ที่น้ำดังกล่าวมีสารที่ให้ไฮโดรเจนอิออนอยู่มาก ในขณะเดียวกันก็มีสารที่ให้ประจุลบอยู่มากเช่นกัน

สำหรับสีในน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดที่ 9 มีสีน้ำตาลเข้ม (ภาพประกอบ 12 และ 13) และน้ำในบ่อบำบัดที่ 14b ก็ยังคงมีสีที่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดตั้งแต่สีเหลืองเข้มจนถึงสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับฤดูกาล (ภาพประกอบ 12 และ 13)

(a) (b)

ภาพประกอบ 12 แสดงน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดที่ 9 (a) และ น้ำทิ้งจากบ่อบำบัดที่ 14b (b) ของโรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างเมื่อ 8 ต.ค. 2539



(a) (b)

ภาพประกอบ 13 แสดงน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดที่ 9 (a) และ น้ำทิ้งจากบ่อบำบัดที่ 14b (b) ของโรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างเมื่อ 11 เม.ย. 2540

น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแม้จะผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพจนความเข้มข้นของมลสารลดลงมากว่าร้อยละ 98 (ตาราง 10) หรืออาจลดลงได้มากจนใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่น้ำดังกล่าวเป็นน้ำที่มีสีซึ่งทำให้ไม่สามารถระบายออกสู่แหล่งรองรับน้ำสาธารณะได้

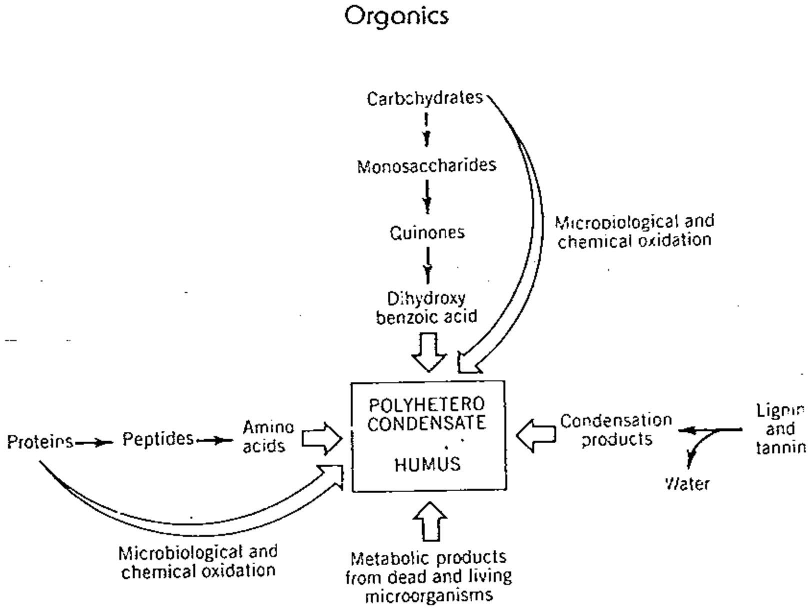
ตาราง 10 สมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด ก่อนและหลังกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

ปัจจัย	น้ำก่อนการบำบัด	น้ำในบ่อบำบัดที่ 14b	
		8 ต.ค. 2539	11 เม.ย. 2540
บีโอดี (มก./ล.)	30,552 [a]	18.40 , 99.94 [b]	7.81 , 99.97 [b]
ซีโอดี (มก./ล.)	60,287 [a]	452.80 , 99.25 [b]	308.88 , 99.49 [b]
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	14,713 [a]	54.50 , 99.63 [b]	15.00 , 99.90 [b]

<u>หมายเหตุ</u> a ที่มา : อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และ คณะ (2539)

b ร้อยละของประสิทธิภาพการบำบัด

สีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพจัดเป็นสีแท้ (true color) เกิดจากการสลายตัวของพืชหรือสารอินทรีย์ สีดังกล่าวอยู่ในรูปของอนุภาคคอลลอยด์ประจุลบ (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2526) และจัดเป็นสารกลุ่มฮิวมิค (humic material) ในกระบวนการเกิดสารในกลุ่มฮิวมิค (ภาพประกอบ 14) หากซากพืชเกิดการสลายตัว ลิกนินและแทนนินจากการสลายตัวของพืชจะรวมตัวกันเกิดเป็นฟีนอลิกโพลิเมอร์ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นสารในกลุ่มฮิวมิค (Corroll, 1985)



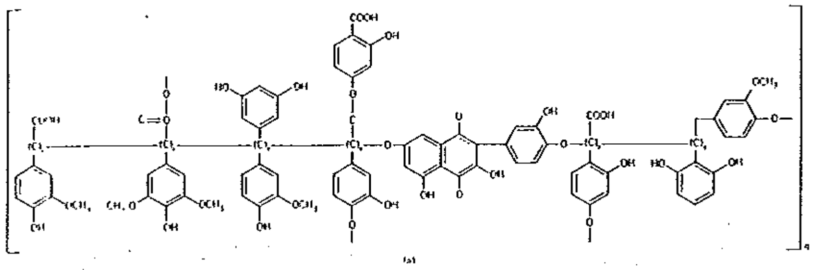
ภาพประกอบ 14 กระบวนการเกิดสารในกลุ่มฮิวมิค
ที่มา : Gjessing (1976) quoted in Corroll (1985)

หากพิจารณาตามความสามารถในการละลายในสภาวะกรด-ด่าง สารในกลุ่มฮิวมิคแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

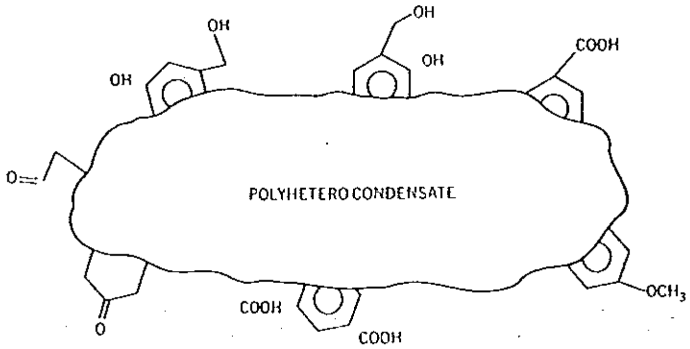
1. กรดฮิวมิค (humic acid) ละลายในสภาวะด่างแต่ไม่ละลายในสภาวะกรด
2. กรดฟูลวิค (fulvic acid) ละลายเฉพาะในสภาวะกรด (Oden, 1919; Black and Christman, 1963, quoted in Cerroll, 1985)

ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้กรดฮิวมิคเป็นตัวแทนของสารในกลุ่มฮิวมิค (Cerroll, 1985)

คาดว่าสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพมาแล้ว น่าจะเป็นกรดฮิวมิคเนื่องจากน้ำดังกล่าวมีพีเอชสูง กรดฮิวมิคเป็นสารโมเลกุลใหญ่มีมวลโมเลกุลมากกว่า 200,000 (Gjessing and Lee, 1967, quoted in Cerroll, 1985) มีขนาดตั้งแต่ $8x10^{-9}$ มิลลิเมตร ถึง 10^{-6} มิลลิเมตร (Cerroll, 1985) ตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของกรดฮิวมิคดังแสดงในภาพประกอบ 15



(a)



(b)

ภาพประกอบ 15 แบบจำลองโครงสร้างโมเลกุลของกรดฮิวมิค

ที่มา : (a) Ghassemi and Christman (1968) quoted in Cerroll (1985)

(b) Perdue (1972) quoted in Cerroll (1985)

แม้สีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ไม่สามารถระบายน้ำทิ้งดังกล่าวออกสู่แหล่งรองรับน้ำสาธารณะได้ แต่การจะใช้สีเป็นตัวแปรในการทดลองโดยตรงไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากไม่ทราบความเข้มข้นของสารที่ทำให้เกิดสี และค่าความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในหน่วย น้ำหนัก/ปริมาตร หรือ โมล/ปริมาตร เป็นตัวแปรสำคัญที่ปรากฏอยู่ในสมการสำหรับอธิบายปรากฏการณ์การดูดซับ โดยเฉพาะสมการของ Freundlich ซึ่งจะใช้อธิบายถึงไอโซเทิร์มการดูดซับและความสามารถในการดูดซับ รวมถึงสมการของ Adams และ Bohart ที่ใช้ในการหาค่าคงที่สำหรับออกแบบระบบดูดซับ ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปได้แก่การหาไอโซเทิร์มการดูดซับ การประเมิน

ความสามารถในการดูดซับ ตลอดจนการหาค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับ จะใช้ซีโอดีเป็นตัวแปรในการศึกษา ค่าซีโอดีนอกจากจะเป็นตัวแปรที่แสดงผลการวิเคราะห์ในหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร แล้วซีโอดียังเป็นตัวแปรที่สามารถประเมินความมากน้อยของสารอินทรีย์ที่เจือปนในน้ำได้โดยไม่จำเพาะว่าเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายหรือยาก จากค่าบีโอดีในตาราง 9 แสดงให้เห็นว่าน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพมาแล้ว มีปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายในปริมาณต่ำ และการที่ซีโอดีมีค่าสูงกว่าบีโอดีมากแสดงว่าสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก เมื่อสีในน้ำทิ้งจัดเป็นกรดฮิวมิคซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก ดังนั้นซีโอดีจะเป็นตัวแปรที่ดีสำหรับนำมาใช้ในการศึกษาการดูดซับสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

อนึ่งจากการวิเคราะห์สมบัติของน้ำในบ่อบำบัดที่ 9 และ 14b ซึ่งเก็บในฤดูฝน (8 ต.ค. 2539) และฤดูร้อน (11 เม.ย. 2540) พบว่ามลสารในน้ำตัวอย่างซึ่งเก็บในช่วงฤดูฝนมีค่ามากกว่ามลสารในน้ำตัวอย่างซึ่งเก็บในฤดูร้อน ทั้งนี้เนื่องจากในฤดูฝนน้ำฝนซึ่งตกสู่บ่อบำบัดมีปริมาณมาก เพื่อป้องกันปัญหาน้ำเสียล้นบ่อโรงงานจึงระบายน้ำจากบ่อบำบัดระยะต้นๆสู่บ่อบำบัดถัดไปเร็วขึ้น เป็นผลให้น้ำทิ้งในบ่อบำบัดช่วงท้ายคือบ่อที่ 9 และ 14b มีความเข้มข้นของมลสารและความเข้มของสีเพิ่มมากขึ้น เมื่อถึงช่วงฤดูร้อนปริมาณฝนที่ตกสู่บ่อบำบัดลดลง ประกอบกับวัตถุดิบที่เข้าสู่โรงงานในช่วงฤดูร้อนมีปริมาณน้อยกว่าในช่วงฤดูฝน น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจึงลดปริมาณลง ทำให้ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในบ่อบำบัดช่วงต้นที่ยาวนานขึ้นและส่งผลให้น้ำเสียในบ่อบำบัดระยะท้ายๆมีคุณภาพดีขึ้น

และจากการกำหนดให้การทดลองในขั้นการหาค่าคงที่ที่จำเป็นสำหรับการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่าน กระทำโดยใช้แบบจำลองที่เป็นชั้นตรึงและปล่อยให้น้ำไหลลง (down flow fixed bed) พบว่าน้ำจากบ่อบำบัดที่ 9 มีค่าของแข็งแขวนลอยสูงเกินขีดจำกัดในการรองรับของระบบ ซึ่งกำหนดความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยในน้ำที่จะเข้าระบบไว้ไม่เกิน 50-60 มิลลิกรัม/ลิตร และหากผ่านน้ำที่มีของแข็งแขวนลอยสูงเข้าสู่ระบบดูดซับจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้นเนื่องจากต้องทำการล้างกลับ (back wash) บ่อยครั้งขึ้นและยังทำให้ถ่านมีอายุการใช้งานสั้นอีกด้วย (Rebis, 1981) นอกจากนี้หากผ่านน้ำจากบ่อบำบัดที่ 9 ซึ่งยังคงมีค่าบีโอดีสูงเข้าสู่ระบบดูดซับด้วยถ่าน

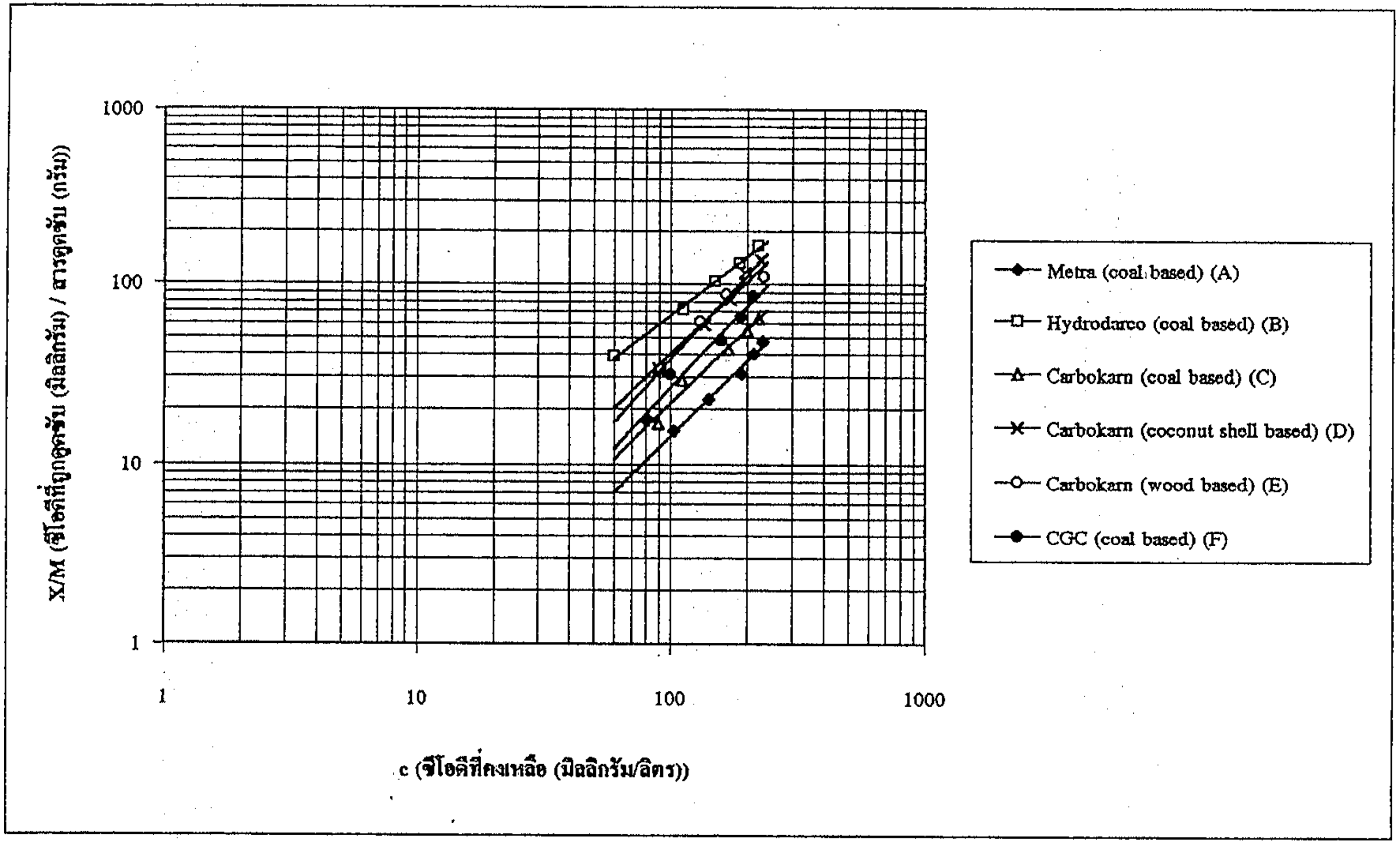
อาจส่งเสริมให้มีการเจริญของจุลินทรีย์จนอุดตันรูพรุนของถ่านได้ ดังนั้นการทดลองในขั้นต่อไปจะใช้น้ำทิ้งจากบ่อบำบัดที่ 14b เพียงบ่อเดียว

2. การหาความสามารถในการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากบริษัทผู้ผลิตรายต่างๆ

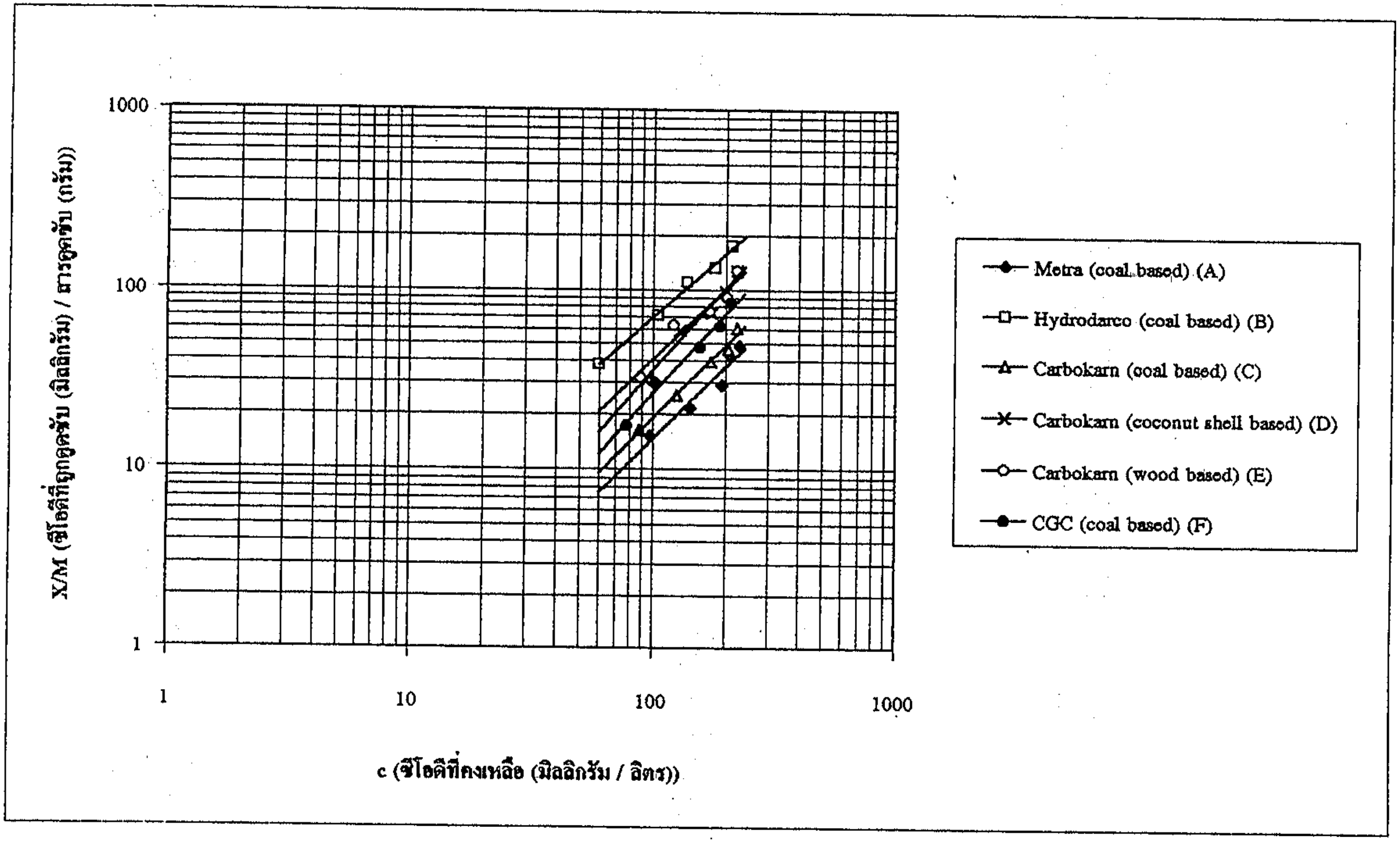
ในการทดลองขั้นนี้ใช้ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ 6 ตัวอย่าง แต่เพื่อความสะดวกในการอภิปรายผลจึงใช้สัญลักษณ์แทนตัวอย่างถ่านกัมมันต์ดังนี้

- ถ่านกัมมันต์ที่ทำจากถ่านหินของ Metra ใช้สัญลักษณ์ *(A)*
- ถ่านกัมมันต์ที่ทำจากถ่านหินของ Hydrodarco ใช้สัญลักษณ์ *(B)*
- ถ่านกัมมันต์ที่ทำจากถ่านหินของ Carbokarn ใช้สัญลักษณ์ *(C)*
- ถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าวของ Carbokarn ใช้สัญลักษณ์ *(D)*
- ถ่านกัมมันต์ที่ทำจากไม้โกงกางของ Carbokarn ใช้สัญลักษณ์ *(E)*
- ถ่านกัมมันต์ที่ทำจากถ่านหินของ C Gigantic Carbon ใช้สัญลักษณ์ *(F)*

จากการหาไอโซเทิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 2 ซ้ำ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 6 ตัวอย่าง และควบคุมพีเอชระหว่างการดูดซับไว้ที่พีเอชของน้ำเสียซึ่งเท่ากับ 9.47 พบว่าเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ *(B)* อยู่เหนือเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ชนิดอื่น (ภาพประกอบ 16-17) แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ตัวอย่างนี้มีความสามารถในการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมากกว่าตัวอย่างถ่านกัมมันต์อื่นๆ และเมื่อพิจารณาจากเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับรองจากถ่านกัมมันต์ *(B)* คือถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับรองจากถ่านกัมมันต์ *(B)* คือถ่านกัมมันต์ *(E)* และถ่านกัมมันต์ *(D)* สำหรับถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าว ซึ่งเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดรูพรุนเล็กเหมาะสำหรับการดูดซับสารในรูปก๊าซหรือสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ (Hassler, 1963; Carbokarn Co., Ltd., n.d.) ในขณะที่ถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางมีรูพรุนขนาดใหญ่เหมาะที่จะใช้ดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ (Carbokarn Co., Ltd., n.d.) แต่การที่เส้นไอโซเทิร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้งสองอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันแสดงว่าถ่านกัมมันต์ทั้งสองมีประสิทธิภาพการดูดซับใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบ 16 ไอโซเทิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ 6 ตัวอย่าง เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 1)



ภาพประกอบ 17 ไอโซเทิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ 6 ตัวอย่าง เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 2)

อาจเนื่องจากถ่านที่ใช้ในการหาไอโซเทิร์มการดูดซับเป็นถ่านที่ถูกบดจนเป็นผงละเอียดมาก ผนังโพรงภายในของถ่านดังกล่าวจะถูกทำลายพื้นที่ผิวภายในถูกเปิดออกสัมผัสกับตัวอย่างน้ำทิ้งโดยตรง ในการนี้ขนาดของรูพรุนหรือขนาดของโพรงภายในจะลดบทบาทในการเป็นปัจจัยกำหนดขนาดโมเลกุลที่จะถูกดูดซับลง ดังนั้นถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวจึงดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้ใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกาง อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงจะใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดซึ่งขนาดของรูพรุนย่อมมีอิทธิพลต่อขนาดของโมเลกุลที่จะถูกดูดซับ และจากเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับจะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับรองจากกัมมันต์ ***(E)*** และถ่านกัมมันต์ ***(D)*** คือถ่านกัมมันต์ ***(F)*** ถ่านกัมมันต์ ***(C)*** และถ่านกัมมันต์ ***(A)*** ตามลำดับ

จากสมการของ Freundlich

$$X/M = kc^{1/n} \quad \text{หรือ} \quad \log X/M = \log k + (1/n) \log c$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง X/M และ c บนกระดาษกราฟลอการิทึมจะได้เส้นไอโซเทิร์มการดูดซับ จุดตัดแกน Y ที่ c =1 มิลลิกรัม/ลิตร คือค่า k ความชันของเส้นกราฟคือค่า 1/n กรณีที่ k และ 1/n มีค่าต่ำความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับชนิดนั้นจะต่ำในทุกระดับค่า c ที่ทำการศึกษา และในกรณีที่ 1/n มีค่าสูงเส้นกราฟจะมีความชันมาก ค่า c จะมีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดซับอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ X/M จะมีค่าสูงมาก เมื่อ c มีค่าสูง แต่เมื่อ c มีค่าต่ำลง X/M ก็จะมีค่าลดลงอย่างมาก (Ford, 1978)

จากการทดลองหาไอโซเทิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 2 ซ้ำ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 6 ตัวอย่างเป็นสารดูดซับ สามารถใช้ค่า k และ 1/n เพื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับของตัวอย่างกัมมันต์ทั้ง 6 ตัวอย่างได้ โดยอาศัยแผนการทดลองแบบ CRD (Completly Randomized Design) แล้วทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย k และ 1/n โดยวิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ซึ่งจะได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตาราง 11

ตาราง 11 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย k และ 1/n จากการหาไอโซเทิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ 6 ตัวอย่างเป็นสารดูดซับ

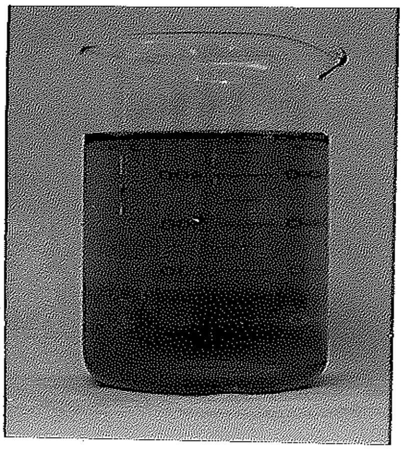
ตัวอย่างถ่านกัมมันต์	k (มิลลิกรัม/กรัม)	1/n
(A)	0.0298a	1.34b
(B)	0.3527b	1.15a
(C)	0.0391a	1.36b
(D)	0.0275a	1.56c
(E)	0.0933a	1.32b
(F)	0.0273a	1.49c

<u>หมายเหตุ</u> ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พบว่าไอโซเทิร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ *(B)* แสดงค่า 1/n ต่ำที่สุด และมีความแตกต่างจากค่า 1/n ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ การที่ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ดังกล่าวมีค่า 1/n ต่ำ อาจทำให้เส้นไอโซเทิร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ชนิดนี้อยู่ในระดับต่ำกว่าเส้นไอโซเทิร์มของถ่านกัมมันต์ชนิดอื่นเมื่อ c มีค่าสูงขึ้น แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์ *(B)* มีค่า k สูงกว่าค่า k ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ เส้นไอโซเทิร์มของถ่านกัมมันต์ *(B)* จึงอยู่เหนือเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างอื่น สำหรับถ่านกัมมันต์ที่เหลืออีก 5 ตัวอย่าง แม้ไอโซเทิร์มการดูดซับแสดงค่า k ที่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ค่า k ก็ยังมีอิทธิพลต่อเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับ ดังจะเห็นได้จากการที่ถ่านกัมมันต์ *(E)* มีค่า k สูงสุดในบรรดาถ่านกัมมันต์ 5 ตัวอย่างที่เหลือ เป็นผลให้เส้นไอโซเทิร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างนี้ อยู่ในระดับสูงรองจากเส้นไอโซเทิร์มของถ่านกัมมันต์ *(B)* สำหรับถ่านกัมมันต์ *(D)* แม้จะมีค่า k ต่ำแต่เนื่องจากมีค่า 1/n สูงกว่าถ่านกัมมันต์ทุกชนิดที่นำมาทดสอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ *(D)* มีความสามารถในการดูดซับสูงเฉพาะช่วงที่ c มีค่าสูง จากกราฟแสดงไอโซเทิร์มการดูดซับ (ภาพประกอบ 16-17) ซึ่งแสดงค่า c

ในช่วง 40-250 มิลลิกรัม/ลิตร เส้นไอโซเทิร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ***(D)*** และถ่านกัมมันต์ ***(E)*** จึงอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ถ่านกัมมันต์ ***(F)*** แม้จะมีค่า 1/n ที่ไม่มีความแตกต่างจากค่า 1/n ของถ่านกัมมันต์ ***(D)*** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่การที่ถ่านกัมมันต์ ***(F)*** มีค่า k และค่า 1/n ต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ ***(D)*** ทำให้เส้น ไอโซเทิร์มของถ่านกัมมันต์ ***(F)*** ต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ ***(D)*** สำหรับถ่านกัมมันต์ ***(A)*** และ ***(C)*** ไม่ได้มีค่า k ที่สูงดังเช่นถ่านกัมมันต์ ***(B)*** หรือถ่านกัมมันต์ ***(E)*** ขณะเดียวกันก็ไม่ได้มีค่า 1/n ที่สูงดังเช่นกัมมันต์ ***(D)*** หรือถ่านกัมมันต์ ***(F)*** เส้นไอโซเทิร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้งสองในช่วงที่ c มีค่าตั้งแต่ 40-250 มิลลิกรัม/ลิตร จึงอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ***(B)*** ***(E)*** ***(D)*** และ ***(F)***

การพิจารณาความสามารถในการดูดซับจากเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับหรือค่าคงที่ในสมการของ Freundlich อาจยังไม่ได้ข้อสรุปที่ทำให้มั่นใจได้ว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดใดมีความสามารถในการดูดซับดีพอที่จะนำไปใช้งานได้จริง จึงใช้ค่า k และ 1/n ที่ได้แทนค่าลงในสมการข้าวต้นเพื่อหาค่า X/M ที่ c ระดับต่างๆ แต่การกำหนดค่า c เพื่อแทนในสมการของ Freundlich ให้ได้ค่า X/M ต้องคำนึงถึงความเข้มของสีด้วยในกรณีที่ c = 120 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเท่ากับค่าซีโอดีตามเกณฑ์กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำตัวอย่างจะยังคงมีสีเข้มจนสังเกตได้ชัด (ภาพประกอบ 18)



ภาพประกอบ 18 น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งมีค่าซีโอดีประมาณ 120 มิลลิกรัม/ลิตร

ดังนั้นจึงใช้ค่า c ที่ต่ำกว่าคือ 60 80 100 และ 120 มิลลิกรัม/ลิตร แทนค่าลงในสมการเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ย X/M ของถ่านกัมมันต์ 6 ตัวอย่าง เมื่ออาศัยแผนการทดลองแบบ CRD แล้วทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย X/M ของตัวอย่างถ่านกัมมันต์ทั้ง 6 โดยวิธี DMRT เมื่อกำหนด c ไว้ที่ระดับ 60 80 100 หรือ 120 มิลลิกรัม/ลิตร จะได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า X/M จากการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ถ่านกัมมันต์ 6 ตัวอย่าง

ตัวอย่างถ่านกัมมันต์	X/M (ซีโอดีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม) / สารดูดซับ (กรัม))			
	c = 60 มก./ล.	c = 80 มก./ล.	c = 100 มก./ล.	c = 120 มก./ล.
(A)	7.24a	10.65a	14.38a	18.36a
(B)	37.83f	52.61f	67.94f	83.73e
(C)	10.09b	14.91b	20.17b	25.83b
(D)	16.33d	25.59d	36.25d	48.20d
(E)	20.68e	30.22e	40.57e	51.61d
(F)	12.21c	18.74c	26.13c	34.29c

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่า X/M ที่ c = 60 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าค่า X/M ของถ่านกัมมันต์แต่ละตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ถ่านกัมมันต์ที่ให้ค่า X/M สูงที่สุดคือถ่านกัมมันต์ ***(B)*** รองลงมาคือถ่านกัมมันต์ ***(E) (D) (F) (C)*** และ ***(A)*** ตามลำดับ และเมื่อกำหนดค่า c เป็น 80 มิลลิกรัม/ลิตร และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าให้ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย X/M เหมือนผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย X/M ในกรณีกำหนด c = 60 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อกำหนดค่า c = 120 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าค่า X/M ของถ่านกัมมันต์ ***(D)*** และ ***(E)*** ไม่มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากการพิจารณาข้างต้นถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถสูงสุดในการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มคือถ่านกัมมันต์ ***(B)*** รองลงมาคือถ่านกัมมันต์ ***(E)***

(D) (F) (C) และ *(A)* ตามลำดับ แต่การเลือกใช้ถ่านกัมมันต์นอกจากจะพิจารณาจากปัจจัยที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับแล้ว ราคาของถ่านกัมมันต์ (ตาราง 13) ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาเช่นกัน

ตาราง 13 ราคาของตัวอย่างถ่านกัมมันต์

ตัวอย่างถ่านกัมมันต์	ราคา (บาท/ 25 กิโลกรัม)
(A)	1,900
(B)	5,000
(C)	1,700
(D)	1,500
(E)	1,250
(F)	2,154

ถ่านกัมมันต์ *(B)* แม้จะมีสามารถสูงสุดในการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม แต่ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างนี้มีราคาแพงกว่าถ่านกัมมันต์ตัวอย่างอื่น มักนำไปใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่มอีกทั้งยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงไม่เป็นการเหมาะสมหากจะนำถ่านกัมมันต์ดังกล่าวมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับรองจากถ่านกัมมันต์ *(B)* คือถ่านกัมมันต์ *(E)* และถ่านกัมมันต์ *(D)* มีราคาถูกกว่าถ่านกัมมันต์ *(B)* และยังมีราคาถูกกว่าถ่านกัมมันต์อีก 3 ตัวอย่างซึ่งมีความสามารถในการดูดซับต่ำกว่า ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจะใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* และถ่านกัมมันต์ *(D)*

3. การศึกษาการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ที่ระดับพีเอชต่างๆ ของตัวอย่างถ่านกัมมันต์

โดยทั่วไปการปรับพีเอชของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจะใช้กรดซัลฟุริกหรือกรดไฮโดรคลอริก แต่กรดไฮโดรคลอริกมีราคาแพงกว่ากรดซัลฟุริกประกอบกับน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีค่าความเป็นด่างสูง การจะปรับลดพีเอชจะต้องใช้

กรดในปริมาณมาก ดังนั้นจึงเลือกใช้กรดซัลฟุริกสำหรับปรับลดพีเอชน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

จากการทดลองใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* และถ่านกัมมันต์ *(E)* ดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ที่ระดับพีเอช 6 7 8 และที่ระดับพีเอชของน้ำทิ้งคือ 9.5 พบว่าเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอชต่ำจะอยู่เหนือเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอชสูงกว่า (ภาพประกอบ 19 20 21 และ 22) แสดงให้เห็นว่าการใช้กรดซัลฟุริกในการปรับลดพีเอชระหว่างการดูดซับ จะทำให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้มากขึ้น

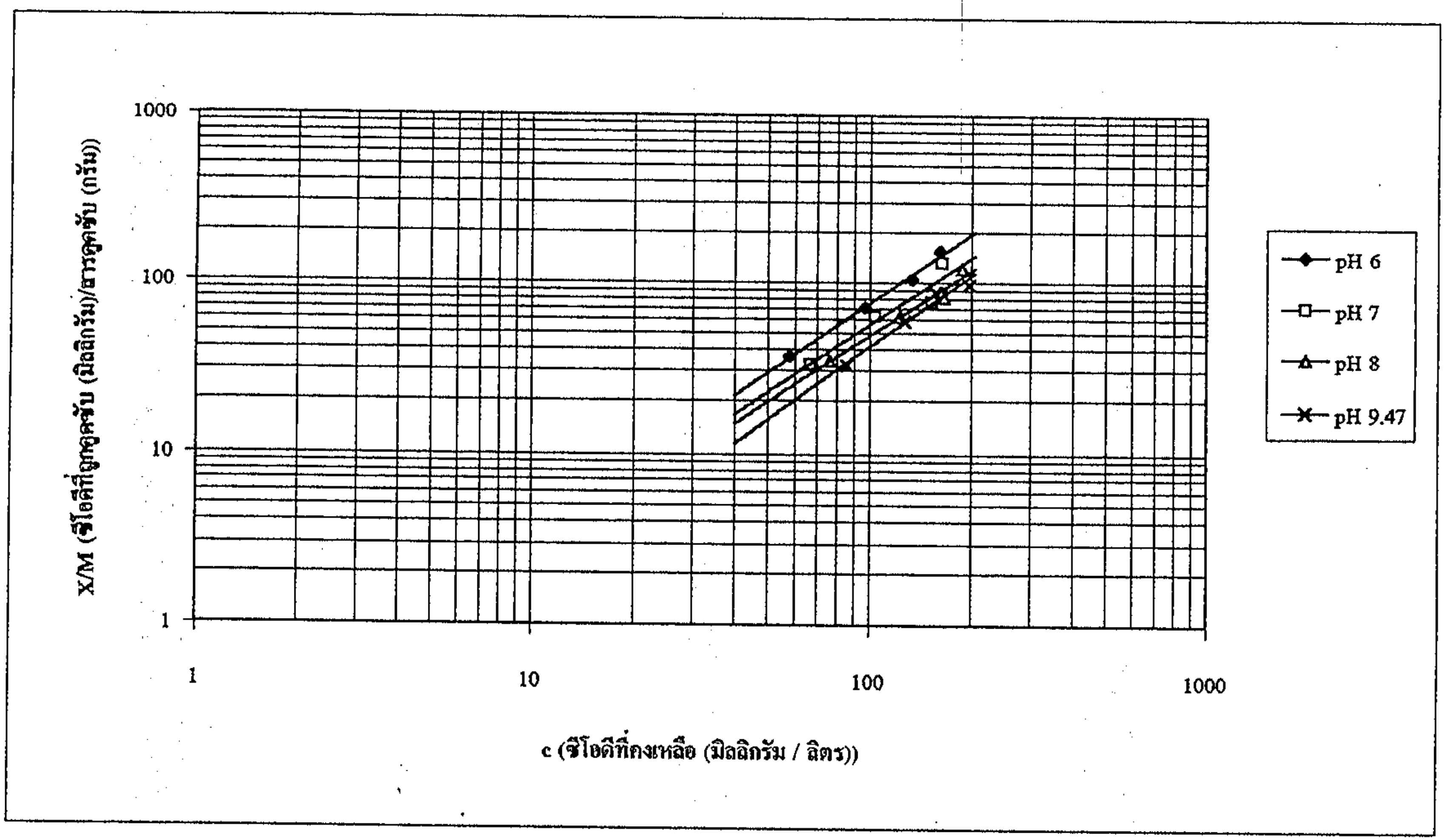
จากการทดลองหาไอโซเทิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 2 ซ้ำ โดยควบคุมพีเอชในการดูดซับไว้ที่ระดับ 6 7 8 และ 9.5 สามารถใช้ค่า k และ 1/n เพื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับที่พีเอช 6 7 8 และ 9.5 ได้โดยอาศัยแผนการทดลองแบบ CRD แล้วทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย k และ 1/n โดยวิธี DMRT ซึ่งจะได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตาราง 14

ตาราง 14 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า k และ 1/n จากการหาไอโซเทิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อควบคุมพีเอชระหว่างการดูดซับไว้ที่ 6 7 8 และ 9.5

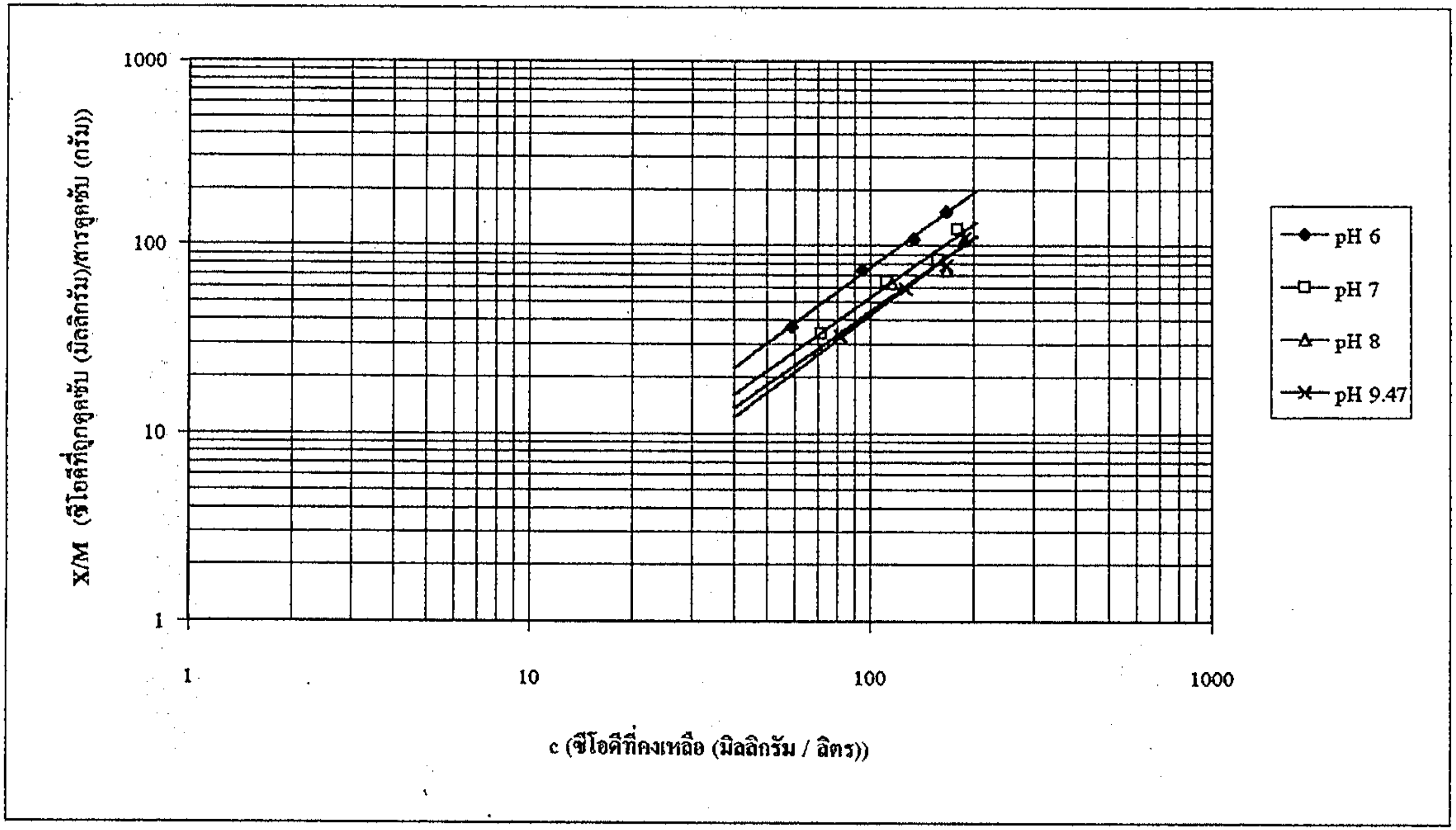
พีเอช	ถ่านกัมมันต์ *(D)*		ถ่านกัมมันต์ *(E)*	
	k (มก./ก.)	1/n	k (มก./ก.)	1/n
6	0.1467a	1.30b	0.1535a	1.35a
7	0.1214ab	1.31b	0.1295a	1.31a
8	0.0940b	1.35ab	0.1218a	1.29a
9.5	0.0369c	1.49a	0.0722b	1.38a

<u>หมายเหตุ</u> ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

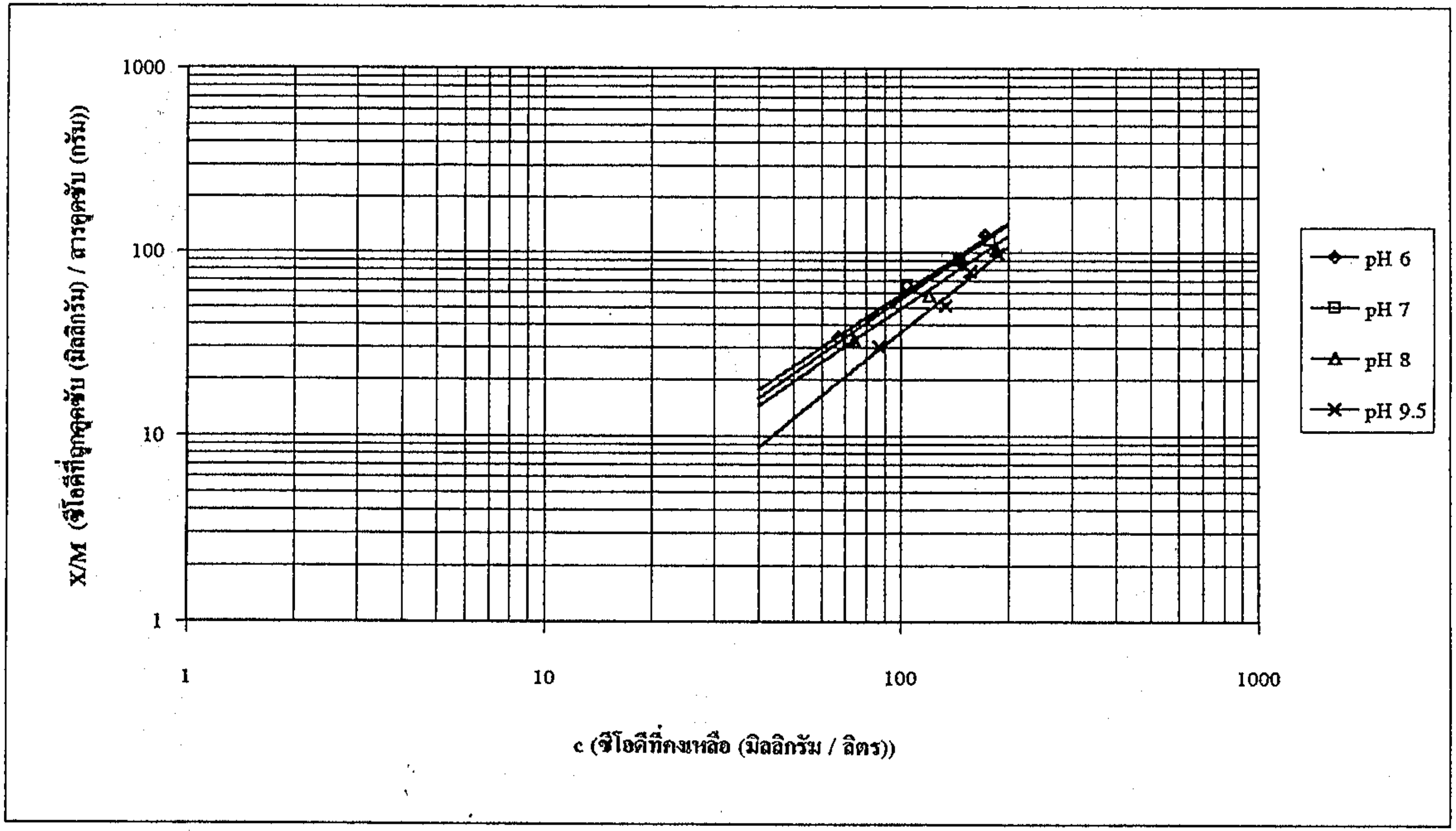
เมื่อพิจารณาจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า k และ 1/n กรณีที่ใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ ไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับ พีเอช 6 7 8 และ 9.5 แสดงค่า 1/n ที่ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อกรณีใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ ไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอช 6 7 8 และ 9.5 แสดงค่า 1/n ที่ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอช 8 และ 9.5 แสดงค่า 1/n ที่ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งนี้จากการใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* และถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับค่า 1/n ของไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอช 9.5 มีค่าสูงที่สุด และกรณีการศึกษาค่า k เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ พบว่าค่า k ของไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอช 9.5 มีค่าต่ำสุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากค่า k ของไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอชอื่น และเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ ไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอช 6 และ 7 แสดงค่า k ที่ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และค่า k ของไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอช 7 และ 8 ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในขณะที่ค่า k ของไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอช 9.5 มีค่าต่ำที่สุดและมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญจากค่า k ของไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอชอื่น การที่ไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอชต่างๆแสดงค่า 1/n ที่ไม่แตกต่างกันมากนัก และค่า k ของไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอชต่ำมีค่ามากกว่าค่า k ของไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอชสูงเป็นผลให้เส้นไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอชต่ำอยู่เหนือเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับที่ระดับพีเอชสูงกว่า



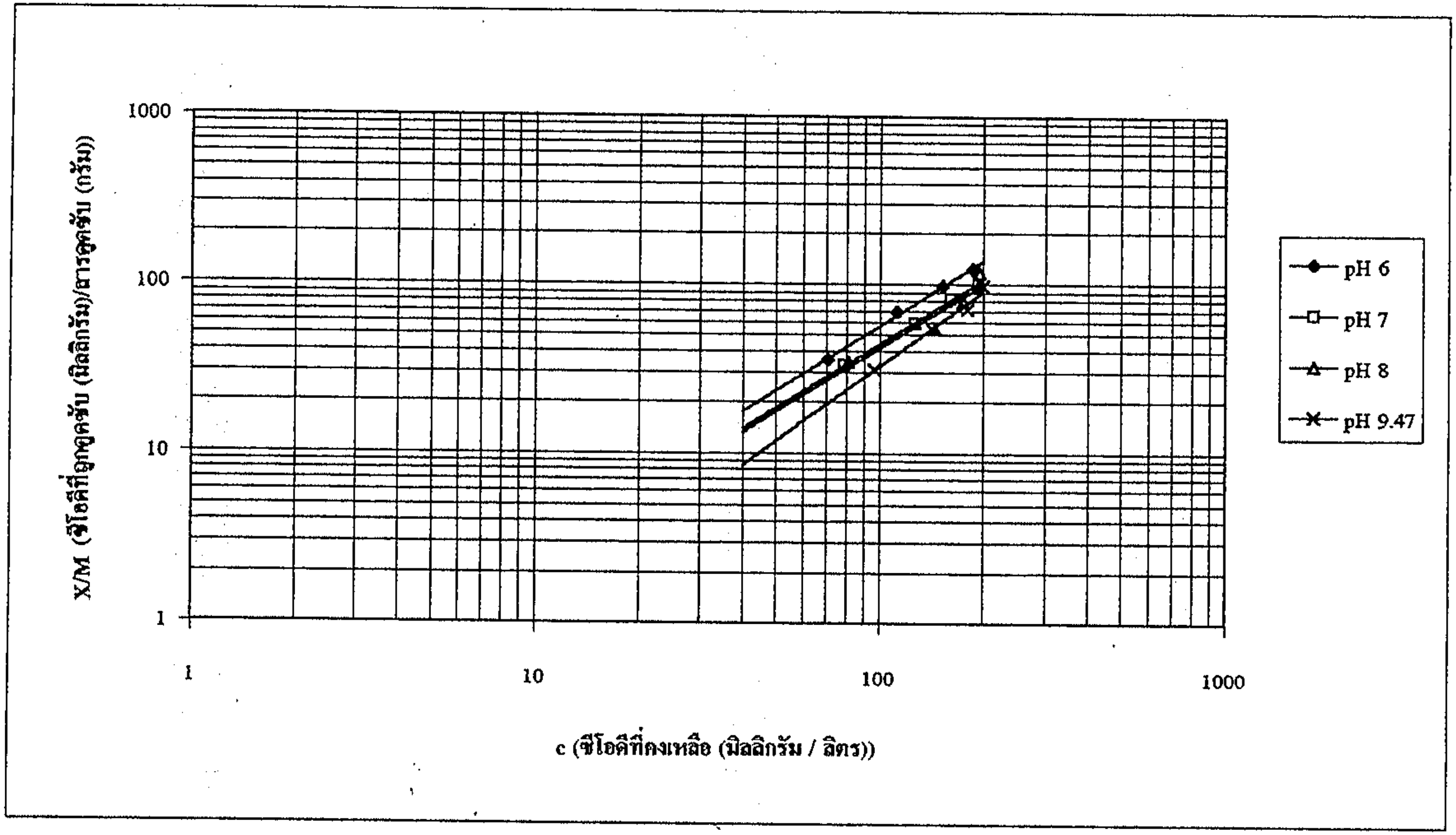
ภาพประกอบ 19 ไอโซเทิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ระดับพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 1)



ภาพประกอบ 20 ไอโซเทิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ระดับพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 2)



ภาพประกอบ 21 ไอโซเทิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ระดับพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 1)



ภาพประกอบ 22 ไอโซเทิร์มการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ระดับพีเอชต่างๆ เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 2)

เมื่อแทนค่า c ลงในสมการของ Freundlich โดยกำหนดค่า c เท่ากับ 60 80 100 และ 120 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อหาค่า X/M และอาศัยแผนการทดลองแบบ CRD แล้วทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย X/M การดูดซับที่พีเอช 6 7 8 และ 9.5 โดยวิธี DMRT เมื่อกำหนด c ไว้ที่ระดับ 60 80 100 หรือ 120 มิลลิกรัม/ลิตร จะได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตาราง 15

ตาราง 15 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า X/M จากการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อควบคุมพีเอชระหว่างการดูดซับไว้ที่ 6 7 8 และ 9.5

พีเอช	X/M (ซีโอดีที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม) / สารดูดซับ (กรัม))							
	ถ่านกัมมันต์ ***(D)***				ถ่านกัมมันต์ ***(E)***			
	c=60	c=80	c=100	c=120	c=60	c=80	c=100	c=120
6	29.56a	42.91a	57.29a	72.56a	37.80a	55.67a	75.16a	96.06a
7	25.44b	37.06b	49.66ab	63.07ab	27.64b	40.30b	53.98b	68.54b
8	21.86c	32.27b	43.68b	55.95bc	23.86c	34.56c	46.08c	57.12c
9.5	16.23d	24.92c	34.74c	45.59c	20.67d	30.78c	41.90c	53.92c

<u>หมายเหตุ</u> ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตาราง 15 พบว่าเมื่อค่า c เท่ากับ 60 มิลลิกรัม/ลิตร ค่า X/M ที่ระดับพีเอชในการดูดซับ 6 7 8 และ 9.5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ X/M และเมื่อกำหนดให้ c มีค่า 80 100 และ 120 มิลลิกรัม/ลิตร ค่า X/M ของการดูดซับที่ระดับพีเอช 6 มีค่าสูงสุด รองลงมาคือค่า X/M ของการดูดซับที่ระดับพีเอช 7 8 และ 9.5 ตามลำดับ

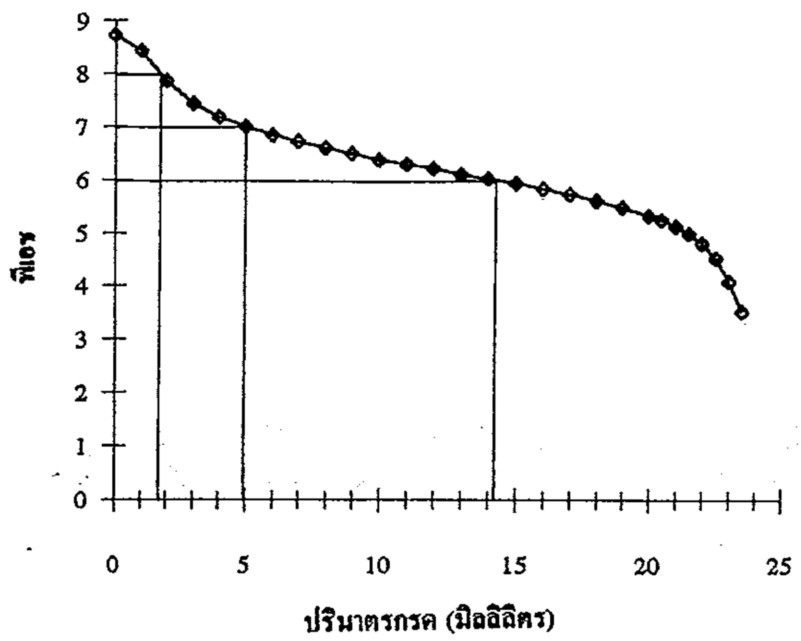
จากการพิจารณาเส้นไอโซเทิร์มการดูดซับของถ่านกัมมันต์ 2 ตัวอย่าง พิจารณาค่าคงที่ 1/n และ k ตลอดจนค่า X/M เมื่อกำหนด c เท่ากับ 60 80 100 และ 120 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าการเติมกรดซัลฟุริกเพื่อปรับลดพีเอชเป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดซับให้กับถ่านกัมมันต์ เนื่องจากโดยปกติพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมี

ประจุเป็นลบเล็กน้อย (วิไลพร, 2537) ไฮโดรเจนอิออนจากกรดที่เติมลงไปจะทำให้พื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีสภาพเป็นกลางมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้พื้นผิวของถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสารที่ทำให้เกิดสีซึ่งเป็นอนุภาคคอลลอยด์ประจุลบไว้ได้มากขึ้น ขณะเดียวกันพันธะในการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของถ่านกับสารที่ถูกดูดซับจะเป็นพันธะที่มีความแข็งแรงมากขึ้น สังเกตได้จากค่า k ที่สูงขึ้นเมื่อมีการปรับลดพีเอช ซึ่งค่า k ที่สูงขึ้นย่อมแสดงให้เห็นว่าพันธะในการดูดซับมีความแข็งแรงมากขึ้น (Snoeyink, 1990) ในกรณีการดูดซับที่ระดับพีเอชของน้ำเสียคือพีเอช 9.5 พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมีสภาพเป็นลบมากกว่ากรณีการเติมกรดเพื่อปรับลดพีเอชให้ต่ำลง เส้นไอโซเทิร์มการดูดซับจะแสดงค่าความชันหรือค่า 1/n สูงสุด การที่เส้นไอโซเทิร์มการดูดซับมีความชันมากแสดงให้เห็นว่าพันธะระหว่าง ผิวหน้าของสารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับมีความแข็งแรงน้อย (Snoeyink, 1990)

และหากว่าอนุภาคสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นคอลลอยด์ประจุลบจริง ไฮโดรเจนอิออนจากการแตกตัวของกรดอาจทำให้อนุภาคของสีลดการผลักระหว่างอนุภาคลงและมีโอกาสรวมตัวกันทำให้อนุภาคสีซึ่งเป็นสารที่ถูกดูดซับมีขนาดใหญ่ขึ้น การที่ขนาดอนุภาคของสารที่ถูกดูดซับมีขนาดใหญ่แม้จะทำให้ถูกดูดซับติดพื้นผิวภายในของถ่านได้ดีกว่า แต่ในการใช้งานจริงซึ่งเป็นการใช้ถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะเป็นเม็ดอนุภาคขนาดใหญ่จะแพร่ผ่านโพรงภายในได้ยากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการปรับพีเอชของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มก่อนผ่านเข้าสู่ระบบดูดซับในชั้นถ่านอาจไม่เป็นการเหมาะสม

และการที่น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งผ่านกระบวนการบำบัดทางชีววิธีมาแล้วมีความเป็นด่างมาก จะส่งผลให้ต้องใช้กรดในปริมาณมากสำหรับปรับลดพีเอช จากการทิเทรตตัวอย่างน้ำทิ้งปริมาณ 25 มิลลิลิตร ด้วยกรดซัลฟุริกเข้มข้น 0.107 นอร์มัล พบว่า พีเอชของน้ำทิ้งที่ถูกทิเทรตจะมีการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในภาพประกอบ 23

จากภาพประกอบ 23 สามารถหาปริมาณกรดที่ใช้ในการปรับลดพีเอชของน้ำตัวอย่างเป็น 6 7 และ 8 ได้ และจะสามารถประมาณปริมาณกรดเข้มข้น ตลอดจนมูลค่าของกรดที่ใช้ในการปรับพีเอชได้ (ตาราง 16) เมื่อกรดซัลฟุริกเข้มข้นระดับการค้า (commercial grade) ความข้มข้น 94% มีราคา 600 บาท/20ลิตร



ภาพประกอบ 23 แสดงการเปลี่ยนแปลงพีเอชของตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ถูกทิเทรตด้วยกรดซัลฟุริก 0.107 นอร์มัล

ตาราง 16 ปริมาณและมูลค่ากรดเข้มข้น 94% ที่ใช้ในการปรับลดพีเอชน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 1 ลูกบาศก์เมตร

พีเอช	ปริมาณกรดเข้มข้นที่ใช้ (มิลลิลิตร)	มูลค่ากรด (บาท)
6	1,660	49.8
7	580	17.4
8	210	6.3

จากการประมาณการข้างต้นการใช้กรดปรับลดพีเอชของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง อีกทั้งการปรับลดพีเอชและการรักษาระดับพีเอชที่ปรับลดไว้กระทำได้ยากเนื่องจากน้ำทิ้งดังกล่าวมีค่าความเป็นด่างสูง ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปคือการหาค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ และการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยระบบดูดซับด้วยถ่านจะใช้ตัวอย่างน้ำที่ไม่ปรับลดพีเอช

4. การหาค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่าน

จากการทดลองผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* และ ถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 4 8 และ 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ตัวอย่างน้ำทิ้งผ่านเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์กับซีโอดีที่เหลือจากการดูดซับ ณ ระดับความลึกต่างๆของชั้นถ่านกัมมันต์ (ตารางภาคผนวก ค3) จากนั้นจึงหากราฟเบรคทรูโดยลากเส้นเฉลี่ยระหว่างจุดซึ่งพล็อตจากความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ตัวอย่างน้ำทิ้งผ่านเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์กับซีโอดีที่เหลือจากการดูดซับ ณ ระดับความลึกต่างๆของชั้นถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้จะทำการลากเส้นเฉลี่ยระหว่างจุดเพื่อให้ได้กราฟเบรคทรู 3 ซ้ำ (ชุดภาพประกอบภาคผนวก ง1 และ ง2) จากกราฟเบรคทรูทำการหาระยะเวลาใช้งานโดยกำหนดเบรคพอยท์เมื่อซีโอดีมีค่า 120 มิลลิกรัม/ลิตร การกำหนดเบรคพอยท์แม้จะกำหนดโดยใช้ค่าซีโอดี แต่ทั้งนี้ต้องสอดคล้องกับค่าสี ในน้ำที่ผ่านออกจากชั้นถ่านด้วย การกำหนดค่าเบรคพอยท์สูงอาจทำให้น้ำที่ผ่านชั้นถ่านในช่วงแรกจนกระทั่งถึงเบรคพอยท์รวมกันแล้วมีค่าซีโอดี 120 มิลลิกรัม/ลิตร เท่ากับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่น้ำดังกล่าวจะมีสีเข้มอย่างเห็นได้ชัด (ภาพประกอบ 19) ดังนั้นจึงกำหนดเบรคพอยท์ที่ซีโอดีมีค่า 120 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อจะทำให้น้ำที่ผ่านชั้นถ่านในช่วงแรกจนกระทั่งถึงเบรคพอยท์รวมกันแล้วมีสีไม่เข้มมากนัก เมื่อหาระยะเวลาใช้งานได้แล้วจึงเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน (bed depth-service time curve) (ชุดภาพประกอบภาคผนวก ง4-ง5) จากค่าความชันและค่า ณ จุดตัดแกน Y ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน ทำการคำนวณหาค่าคงที่ N_0 K และ D_0 ตามสมการของ Adams และ Bohart (ตารางภาคผนวก ค4)

จากการทดลองที่มีการเปลี่ยนอัตราน้ำล้นผิว 4 ระดับ และใช้ถ่านกัมมันต์ 2 ชนิดเป็นสารดูดซับ เมื่ออาศัยแผนการทดลองแบบ CRD แล้วทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยค่าคงที่ N K และ D_0 โดยวิธี DMRT ในกรณีผ่านน้ำเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ชนิดเดียวกันด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างกัน และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยค่าคงที่ N K และ D_0 โดยวิธี LSD (Less Significant Difference) ในกรณีผ่านน้ำด้วยอัตราน้ำล้นผิวเท่ากันเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ต่างชนิดกัน จะได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตาราง 17

ตาราง 17 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่าน เมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* และ ถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

1. N_0 (มิลลิกรัม/ลิตร)			
อัตราน้ำล้นผิว (ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที)	ตัวอย่างถ่านกัมมันต์		ค่าแตกต่างระหว่างชนิดของถ่านกัมมันต์
	(D)	*(E)*	
2	2150.39a	3926.41a	-1776.02**
4	1908.90b	2738.68b	-829.78**
8	1489.82c	2271.29c	-781.48**
16	1032.83d	1619.77d	-586.94**
2. K (มิลลิลิตร/มิลลิกรัม/นาที)			
อัตราน้ำล้นผิว (ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที)	ตัวอย่างถ่านกัมมันต์		ค่าแตกต่างระหว่างชนิดของถ่านกัมมันต์
	(D)	*(E)*	
2	0.02003d	0.00707d	0.01297**
4	0.03877c	0.02053c	0.01823**
8	0.07567b	0.04850b	0.02717**
16	0.13933a	0.07220a	0.06713**
3. D_0 (เซนติเมตร)			
อัตราน้ำล้นผิว (ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที)	ตัวอย่างถ่านกัมมันต์		ค่าแตกต่างระหว่างชนิดของถ่านกัมมันต์
	(D)	*(E)*	
2	17.43d	22.50c	-5.07**
4	21.80c	24.14bc	-2.33*
8	28.50b	26.09b	2.41*
16	44.82a	41.77a	3.05**

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

2.** ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

3. * ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า N_0 ที่อัตราน้ำล้นผิว 2 4 8 แล 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที พบว่าค่าเฉลี่ยของค่า N_0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดย N_0 จะมีค่าสูงที่สุดเมื่อใช้อัตราน้ำล้นผิวต่ำที่สุด และ N_0 จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราน้ำล้นผิว

ตามสมการของ Adams และ Bohart N_0 เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการดูดซับ (carbon efficiency) (Hutchins, 1973) ในที่นี้ N_0 หมายถึงมิลลิกรัมของซีโอดีที่ถูกถ่านกัมมันต์ปริมาตร 1 ลิตรดูดซับไว้ การที่ N_0 มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราน้ำล้นผิวเนื่องมาจากการใช้อัตราน้ำล้นผิวสูงจะทำให้ระยะเวลาที่ตัวอย่างน้ำทิ้งสัมผัสกับเม็ดถ่านลดลง ในขณะที่กลไกการดูดซับดำเนินไปอย่างช้าๆเนื่องจากเป็นการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ ส่งผลให้อนุภาคของสารที่ถูกดูดซับได้มีโอกาสที่จะถูกดูดซับน้อยลง สำหรับการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ เช่น กรดฮิวมิค หรือ กรดฟูลวิค กลไกการดูดซับในขั้นการแพร่ผ่านโพรงภายในเม็ดถ่านจะดำเนินไปช้ามากเมื่อเทียบกับการดูดซับสารโมเลกุลเล็ก (ตาราง 18) การดูดซับสารโมเลกุลใหญ่จนกระทั่งถึงจุดสมดุลการดูดซับอาจใช้เวลานานกว่า 1 ปี (Randtke and Snoeyink, 1983 quoted in Snoeyink, 1990)

ตาราง 18 ผลการคำนวณเวลาที่ใช้ในการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่และสารโมเลกุลเล็กจนกระทั่งถึงจุดสมดุลการดูดซับ

adsorbate	GAC mesh size	particle diameter (mm)	C_0 * (mg/l)	$t_{1.01}$** (days)
dimethylphenol	8	2.380	90.67	7.70
(122 MW)	30	0.595	90.67	0.54
rhodamine B	8	2.380	85.10	590
(423 MW)	30	0.595	85.10	37
peat fulvic acid	8	2.380	0.730	1840
(10,000 MW)	30	0.595	0.730	115
humic acid	8	2.380	37.93	5300
(50,000 MW)	30	0.595	37.93	333

C_0* Dosage of activated carbon = 0.25 g/l; C_0 selected so that $C_e = 0.25C_0$ in all case except two of the humic acid simulations.

$t_{1.01}$** is the time to reach a final solution concentration of $1.01C_e$.

ที่มา : ดัดแปลงจาก Snoeyink (1990)

ดังนั้นการจะใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ควรผ่านน้ำเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่ำเพื่อให้สอดคล้องกับกลไกการดูดซับและเพื่อให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับสารดังกล่าวไว้ได้มากขึ้น

และเมื่อผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* และ ถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิวเท่ากัน พบว่าค่าเฉลี่ย N_0 ของถ่านกัมมันต์ *(E)* มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย N_0 ของถ่านกัมมันต์ *(D)* และเป็นค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ทั้งนี้เนื่องจากถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าวมีโพรงภายในเล็กกว่าโพรงภายในของถ่านกัมมันต์ *(E)* ซึ่งทำจากไม้โกงกาง ประกอบกับสารที่ถูกดูดซับเป็นสารโมเลกุลใหญ่ กลไกการดูดซับของถ่านกัมมันต์ *(D)* จึงดำเนินไปช้ากว่า สารที่ถูกดูดซับได้จึงมีโอกาสที่จะถูกดูดซับน้อยลง

สำหรับค่า K ในสมการของ Adams และ Bohart เป็นค่าคงที่ที่แสดงถึงอัตราการดูดซับ (adsorption rate constant) (Hutchins, 1973) ซึ่งคำนวณได้จากส่วนกลับของความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำที่เข้าสู่ระบบในที่นี้หมายถึงมิลลิลิตรของถ่านกัมมันต์ที่ใช้สำหรับดูดซับซีโอดี 1 มิลลิกรัมในเวลา 1 นาที ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่สามารถดูดซับซีโอดีได้มากกว่าและเร็วกว่าจะแสดงค่า K ต่ำ จากการทดลองผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 4 8 และ 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที พบว่าค่า K จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราน้ำล้นผิวและค่า K ที่อัตราน้ำล้นผิวต่างกันจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวเท่ากันพบว่าค่า K ของถ่านกัมมันต์ *(D)* มากกว่าค่า K ของถ่านกัมมันต์ *(E)* และค่า K ของถ่านกัมมันต์ทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง จากการพิจารณาค่า K การผ่านตัวอย่างน้ำเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่ำและใช้ถ่านกัมมันต์ที่มีโพรงขนาดใหญ่ภายในเม็ดถ่านเป็นสารดูดซับ จะทำให้ปริมาตรถ่านกัมมันต์ที่ต้องใช้สำหรับการดูดซับซีโอดี 1 มิลลิกรัมในเวลา 1 นาที ลดลงได้

D_0 หรือความลึกวิกฤติ (critical bed depth) หมายถึงความลึกของชั้นถ่านที่จะทำให้น้ำที่ผ่านเข้าระบบด้วยความเข้มข้น C_0 ลดความเข้มข้นลงเหลือ C_B ในทันที (เสริมพล รัตนสุข, 2526) จากการทดลองเมื่อเริ่มผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่าน

กัมมันต์ มลสารในรูปซีโอดีจะเริ่มถูกดูดซับและเมื่อ wave front ของน้ำดังกล่าว เดินทางมาถึงระดับความลึก D_0 ซีโอดีในน้ำ ณ จุดดังกล่าวจะถูกดูดซับไปจนเหลือความเข้มข้นเท่ากับ 120 มิลลิกรัม/ลิตร หรืออีกนัยหนึ่งจะต้องใช้ชั้นถ่านกัมมันต์ที่มีความลึกอย่างน้อย D_0 จึงจะทำให้ซีโอดีในตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มลดลงเหลือ 120 มิลลิกรัม/ลิตร จากการผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 4 8 และ 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที พบว่าค่า D_0 จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราน้ำล้นผิว ทั้งนี้เนื่องจากการผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวสูงทำให้สารที่ถูกดูดซับได้มีโอกาสที่จะถูกดูดซับลดลง และเมื่อผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* และถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิวเท่ากัน ไม่สามารถได้ข้อสรุปที่แน่ชัดว่าค่าเฉลี่ยของค่า D_0 ของถ่านกัมมันต์ชนิดใดมีค่าสูงกว่า ในทางปฏิบัติชั้นถ่านกัมมันต์ในช่วงที่มีความลึกน้อยกว่าหรือเท่ากับ D_0 ถือว่าเป็นชั้นถ่านกัมมันต์ที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ (unused bed) เพราะความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำซึ่งผ่านออกมาจากชั้นถ่านกัมมันต์ที่ระดับความลึกดังกล่าวจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด ณ เบรคพอยท์ การที่ D_0 มีค่าสูงจะทำให้อัตราส่วนระหว่างความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงควรผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่ำ และเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่แสดงค่า D_0 ต่ำ

จากการพิจารณาค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง คือ N_0, K และ D_0 การจะใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้อย่างมีประสิทธิภาพควรผ่านน้ำเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่ำและเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่มีโพรงภายในขนาดใหญ่

เมื่อแทนค่า N_0 และ K ซึ่งได้จากการทดลอง ลงในสมการของ Adams และ Bohart จะสามารถคำนวณระยะเวลาใช้งาน ปริมาตรน้ำที่บำบัดได้ตลอดจนมูลค่าของถ่านกัมมันต์สำหรับดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 1 ลูกบาศก์เมตรได้ (ตาราง19) ทั้งนี้จะกำหนดให้ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำที่ผ่านเข้าชั้นถ่านกัมมันต์ (C_0) มีค่า 290 มิลลิกรัม ใกล้เคียงกับความเข้มข้นของซีโอดีของตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลอง (วิธีการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก จ)

ตาราง 19 แสดงระยะเวลาใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์ลึก 180 เซนติเมตร ปริมาตรน้ำที่บำบัดได้และมูลค่าถ่านกัมมันต์สำหรับดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร

ถ่านกัมมันต์	อัตราน้ำล้นผิว (ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที)	ระยะเวลาใช้งาน (นาที)	ปริมาตรน้ำที่บำบัดได้ (ลิตร)	มูลค่าถ่านกัมมันต์ (บาท/ลบ.ม.)
(D)	2	607	47	4,223
	4	265	41	4,835
	8	100	31	6,431
	16	31	19	10,195
(E)	2	1049	80	1,202
	4	366	56	1,719
	8	151	46	2,080
	16	46	28	3,049

ในการใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม แม้จะผ่านน้ำเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่ำและเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่มีโพรงภายในขนาดใหญ่ แต่หากเป็นการใช้เพียงครั้งเดียวโดยไม่มีการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ จะพบว่าต้นทุนการปรับปรุงคุณภาพน้ำจะสูงมากจนไม่สามารถนำระบบดังกล่าวมาใช้ได้

5. การประเมินคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

จากการทดลองผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* และ ถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 4 8 และ 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่าน ณ ช่วงเวลาต่างๆเพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ พีเอช ความเป็นด่าง ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ของแข็งละลายได้ทั้งหมด ซีโอดี บีโอดี เจลดาห์ลไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียไนโตรเจน สี และ สารริดิวซ์ไฟลินส์ฟีนอล ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตาราง

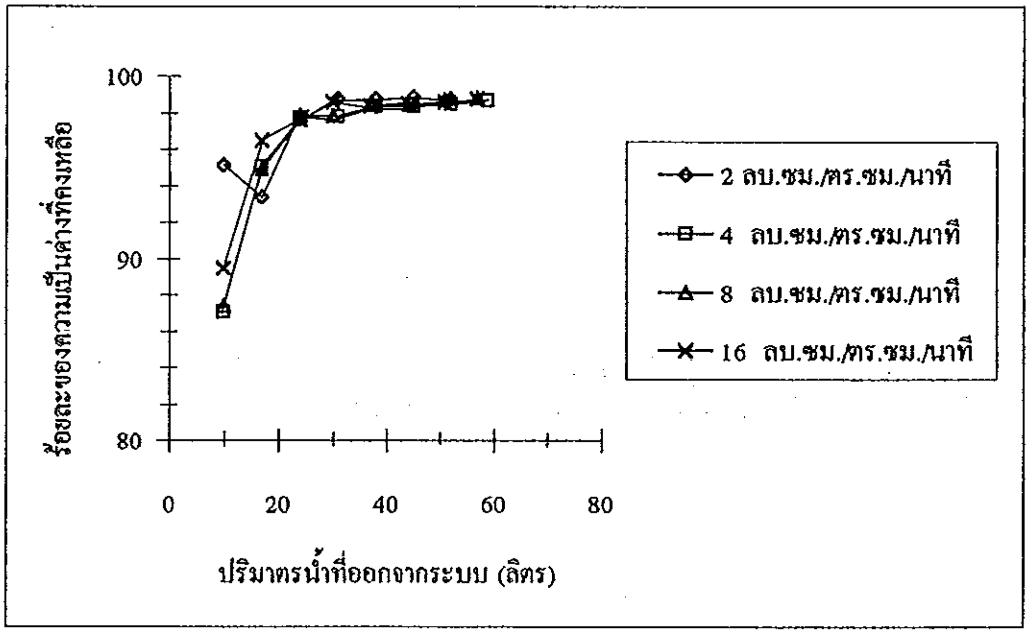
ภาคผนวก ค5 ซึ่งจะได้นำผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีดังกล่าวมาใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

5.1 พีเอช เมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ พบว่าน้ำที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ยังคงมีพีเอชสูงใกล้เคียงกับพีเอชของน้ำเข้าระบบ และมีค่าเกินเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ว่า น้ำทิ้งที่จะระบายออกจากโรงงานได้ต้องมีพีเอชไม่ต่ำกว่า 5.5 แต่ต้องไม่สูงกว่า 9.0 ดังนั้นหากจะระบายน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ออกสู่แหล่งรองรับน้ำสาธารณะจะต้องทำการปรับลดพีเอชก่อน แต่จะปรับพีเอชลงที่ระดับใดต้องคำนึงถึงค่าความเป็นด่างด้วย

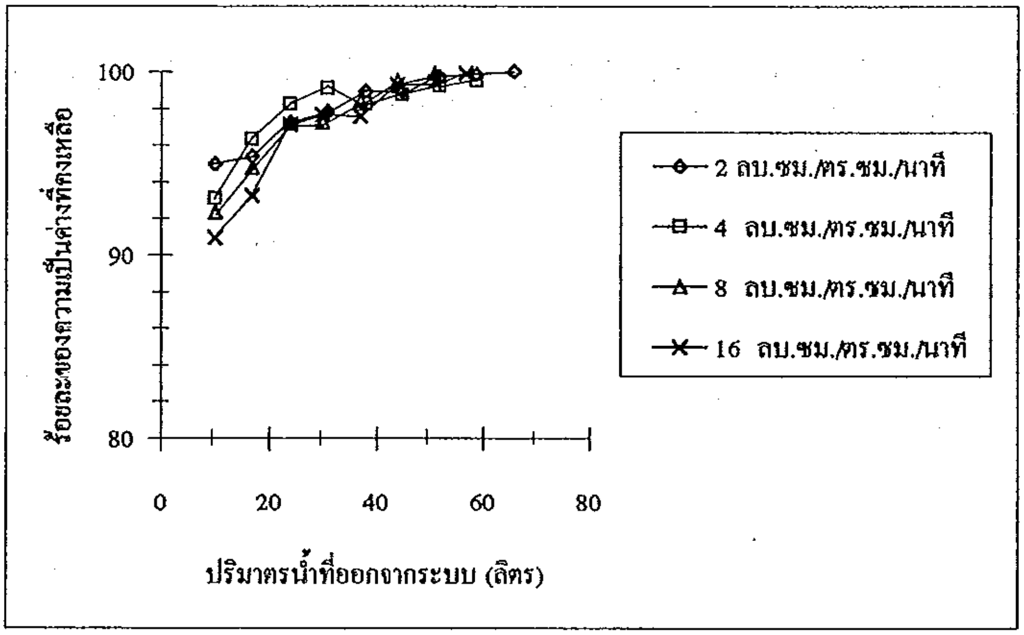
5.2 ความเป็นด่าง แม้การผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่ำจะลดความเป็นด่างได้มากกว่าการผ่านน้ำเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวสูง (ภาพประกอบ 24) อย่างไรก็ตามระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ก็ไม่สามารถลดความเป็นด่างในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้ไม่มากนัก ความเป็นด่างที่ยังคงมีค่าสูงจะทำให้ต้องใช้กรดปริมาณมากเพื่อปรับลดพีเอช ดังนั้นในกรณีที่ต้องการระบายน้ำดังกล่าวออกสู่แหล่งรองรับน้ำสาธารณะควรปรับพีเอช ลงมาเพียงระดับ 9 เพื่อให้ผ่านเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

5.3 ของแข็งละลายได้ จากการทดลองพบว่าการเปลี่ยนอัตราน้ำล้นผิวหรือชนิดของถ่านกัมมันต์ไม่ได้ทำให้ของแข็งละลายได้ในน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านกัมมันต์เปลี่ยนแปลงไปมากนัก เมื่อเทียบกับของแข็งละลายได้ในน้ำเข้าระบบ (ภาพประกอบ 25) และหากมีการนำน้ำดังกล่าวไปหมุนเวียนใช้ใหม่โดยใช้ในการล้างทำความสะอาดจะทำให้เกิดคราบเกาะติดวัสดุที่ถูกล้าง เนื่องจากของแข็งละลายได้ในน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านกัมมันต์ยังคงมีค่าค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามของแข็งละลายได้ในน้ำดังกล่าวก็ยังมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร

5.4 ของแข็งแขวนลอย จากข้อจำกัดของระบบดูดซับในชั้นตรึงแบบปล่อยให้น้ำไหลลง (downflow fixed bed) ที่กำหนดให้น้ำเข้าระบบมีของแข็งแขวนลอยได้ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร (Rebis, 1981) ดังนั้นน้ำที่ออกจากระบบดูดซับดังกล่าวควรจะมีของแข็งแขวนลอยต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร จากการทดลองพบว่าของแข็งแขวนลอยในน้ำที่เข้าและออกจากระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม การที่น้ำเข้าและออกจากระบบดูดซับมีค่าใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าชั้นถ่านกัมมันต์กรองของแข็งแขวนลอยไว้ได้น้อยมาก และพบว่าการเปลี่ยนอัตราน้ำล้นผิวหรือชนิดของถ่านกัมมันต์ที่ใช้แทบไม่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกรองของแข็งแขวนลอยของชั้นถ่าน เนื่องจากเมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ต่างชนิดกันด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆกัน ของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านมีค่าใกล้เคียงกัน (ภาพประกอบ 26)

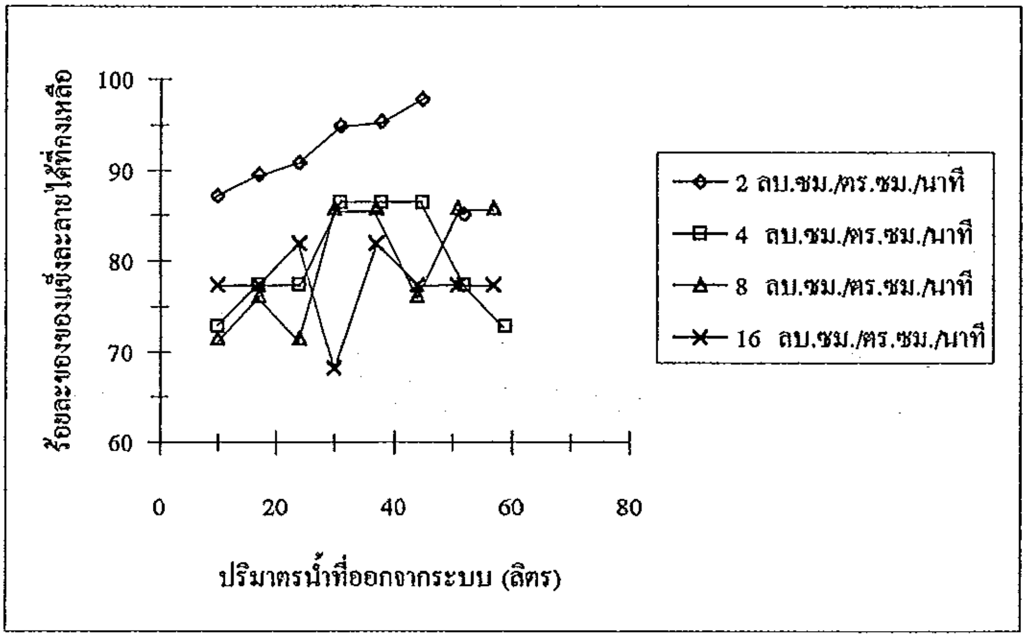


(a) ใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ

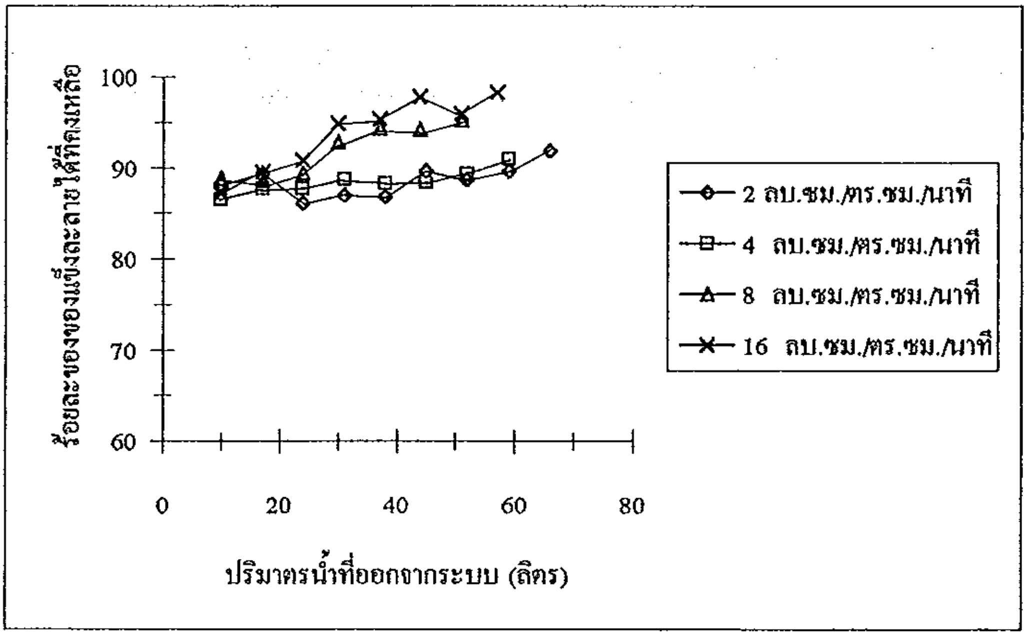


(b) ใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ

ภาพประกอบ 24 ร้อยละของความเป็นด่างที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

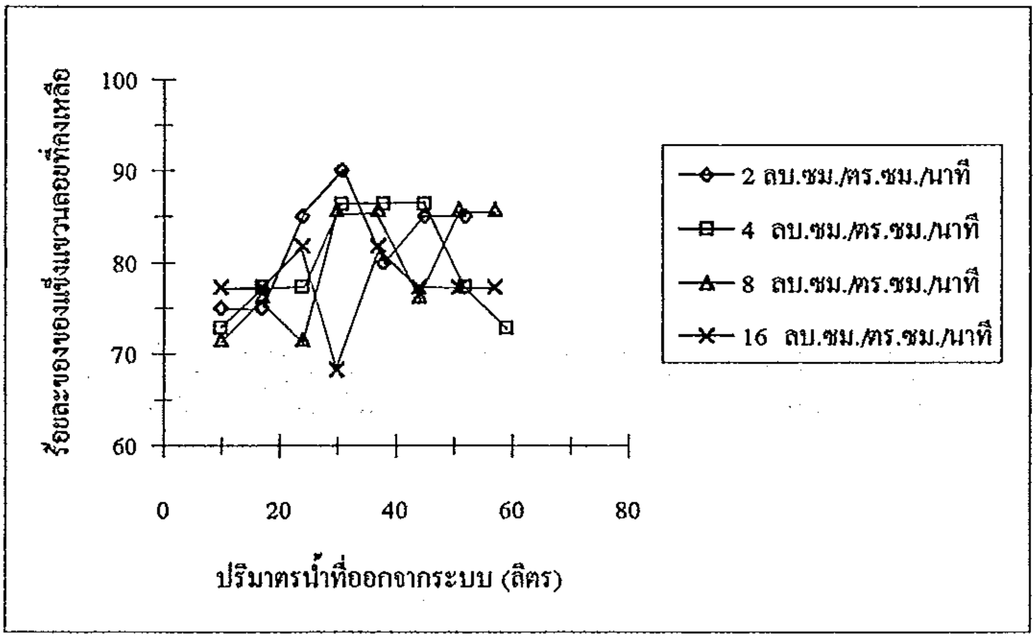


(a) ใช้ถ่านกัมมันต์ ***(D)*** เป็นสารดูดซับ

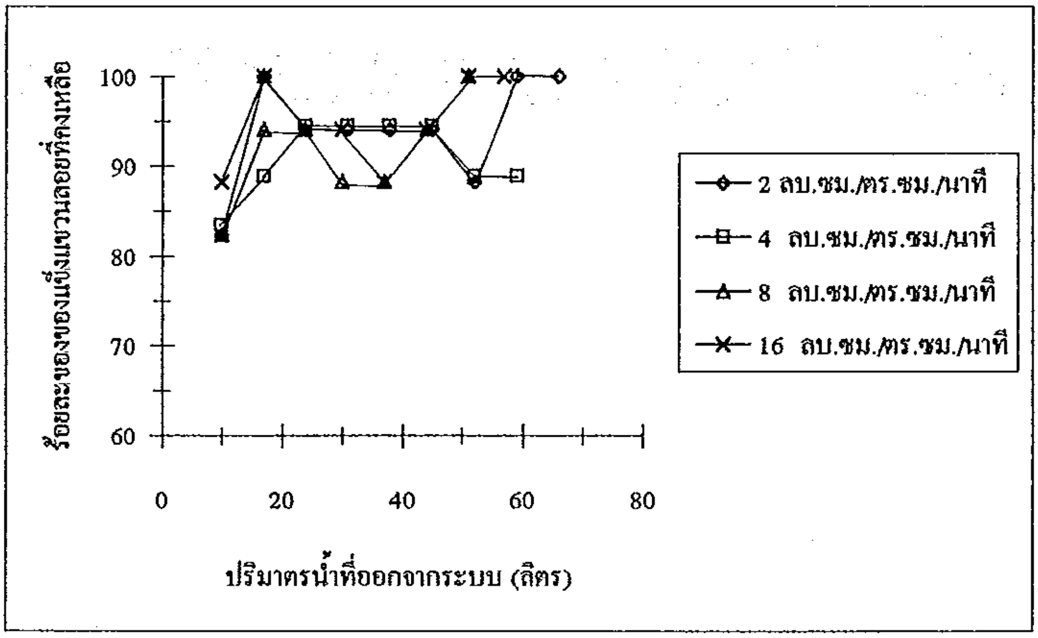


(b) ใช้ถ่านกัมมันต์ ***(E)*** เป็นสารดูดซับ

ภาพประกอบ 25 ร้อยละของของแข็งละลายได้ที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ



(a) ใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ



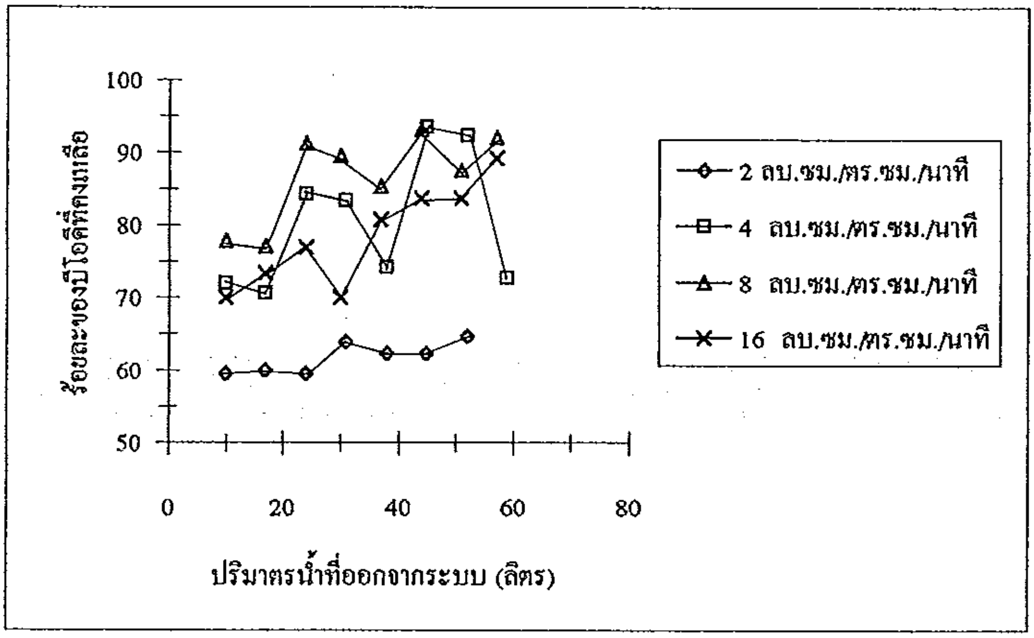
(b) ใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ

ภาพประกอบ 26 ร้อยละของของแข็งแขวนลอยที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

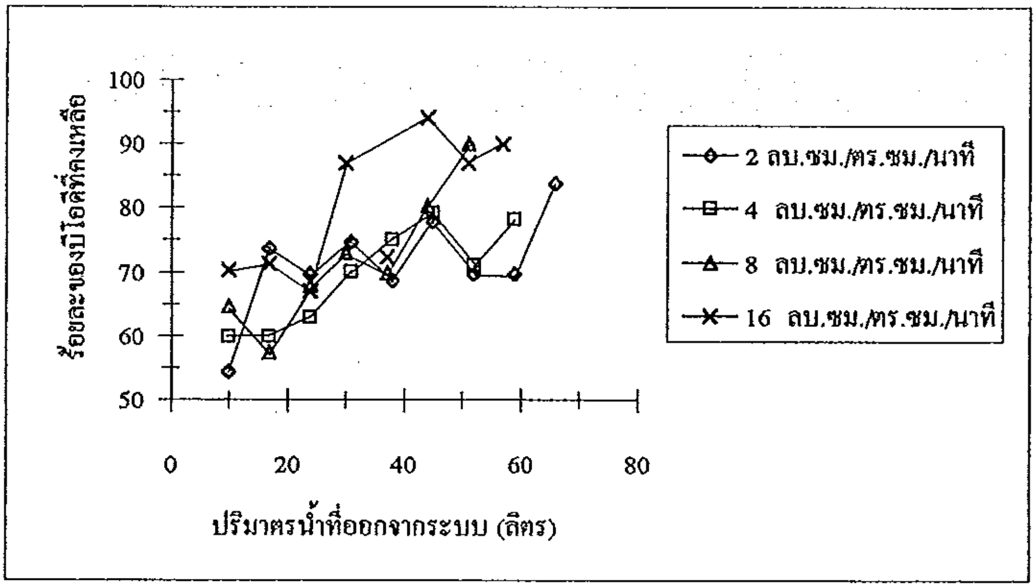
5.5 บีโอดี จากการทดลองพบว่าบีโอดีในน้ำเข้าระบบมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงให้เห็นว่าน้ำเข้าระบบมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายเหลืออยู่น้อย เมื่อเปรียบเทียบน้ำที่เข้าระบบและออกจากระบบในช่วงเวลาต่างๆพบว่ามีค่าบีโอดีใกล้เคียงกัน (ภาพประกอบ 27) แสดงให้เห็นว่าชั้นถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการลดบีโอดีค่อนข้างต่ำ จากนอกนี้การเพิ่มหรือลดอัตราน้ำล้นผิวแทบไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับบีโอดีซึ่งจะสังเกตได้ชัดในกรณีที่ใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับและจะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์บีโอดีคล้ายกับผลการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย ซึ่งอาจมีความเป็นไปได้ที่สารอินทรีย์ย่อยสลายได้ง่ายในน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มส่วนหนึ่งจะอยู่ในรูปของของแข็งแขวนลอย

5.6 ซีโอดี จากการทดลองพบว่าการผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่ำกว่ามีแนวโน้มที่จะทำให้ซีโอดีในน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านกัมมันต์เหลืออยู่น้อยกว่ากรณีที่ผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวสูงกว่า (ภาพประกอบ 28) สอดคล้องกับการทดลองในขั้นการหาค่าคงที่สำหรับออกแบบระบบดูดซับ

จากการทดลองในขั้นการหาค่าคงที่สำหรับออกแบบระบบดูดซับ พบว่าอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที เป็นอัตราน้ำล้นผิวที่เอื้ออำนวยให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับซีโอดีไว้ได้มากที่สุด หากผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที แล้วนำน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ช่วงเริ่มทดลองจนกระทั่งซีโอดีในน้ำดังกล่าวมีค่าเท่ากับเบรคพอยท์คือ 120 มิลลิกรัม/ลิตร มาผสมกัน น้ำที่ผสมกันย่อมมีค่าซีโอดีต่ำกว่า 120 มิลลิกรัม/ลิตร และจะสามารถหาค่าซีโอดีในน้ำดังกล่าวได้จากพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับซีโอดีที่คงเหลือ (ชุดภาพประกอบภาคผนวก ง7) โดยวิธีการดังกล่าวพบว่าการผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* และ ถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที ค่าเฉลี่ยซีโอดีในน้ำที่ออกจากระบบจะมีค่า 91.35 และ 90.57 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แม้ว่าน้ำดังกล่าวจะมีค่าซีโอดีต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแต่ยังไม่สามารถแน่ใจได้ว่าจะระบายน้ำออกสู่แหล่งรองรับน้ำสาธารณะได้หรือไม่ ทั้งนี้ต้องเทียบเคียงค่าซีโอดีกับค่าสีอีกครั้ง

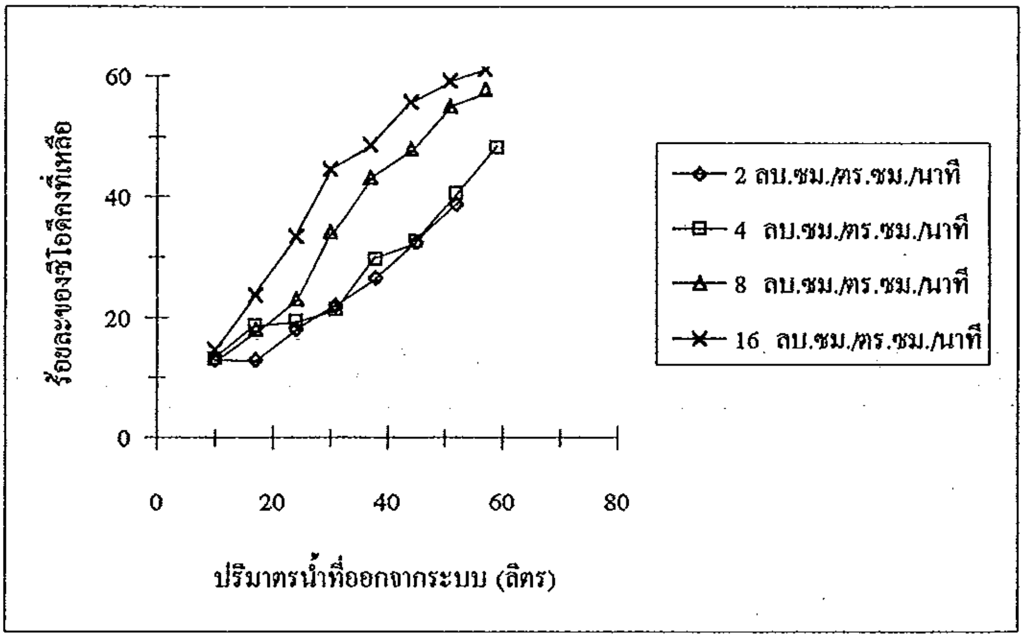


(a) ใช้ถ่านกัมมันต์ ***(D)*** เป็นสารดูดซับ

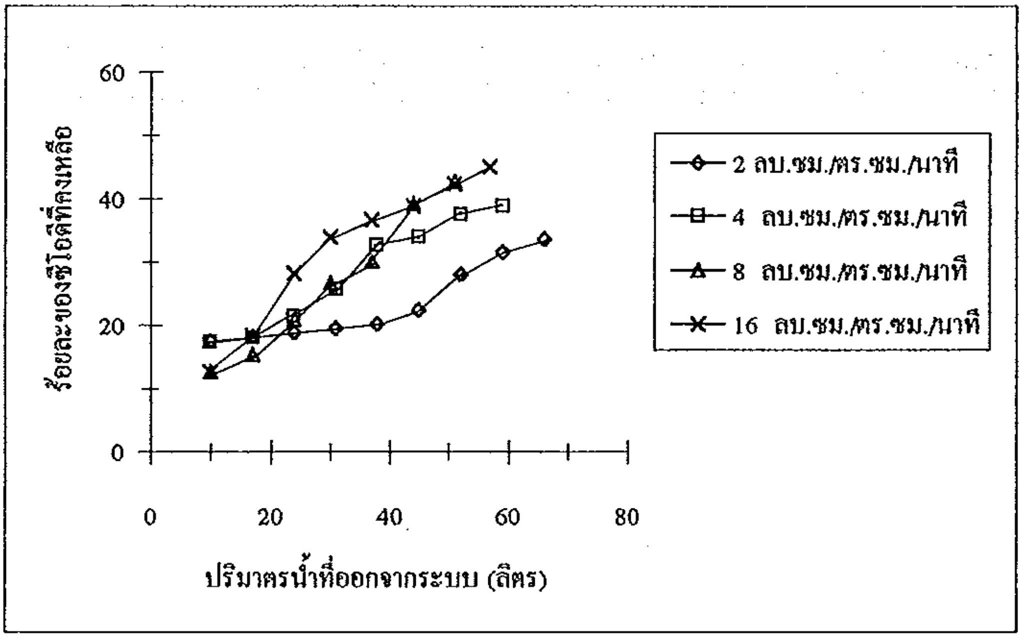


(b) ใช้ถ่านกัมมันต์ ***(E)*** เป็นสารดูดซับ

ภาพประกอบ 27 ร้อยละของบีโอดีที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ



(a) ใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ



(b) ใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ

ภาพประกอบ 28 ร้อยละของซีโอดีที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
เข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

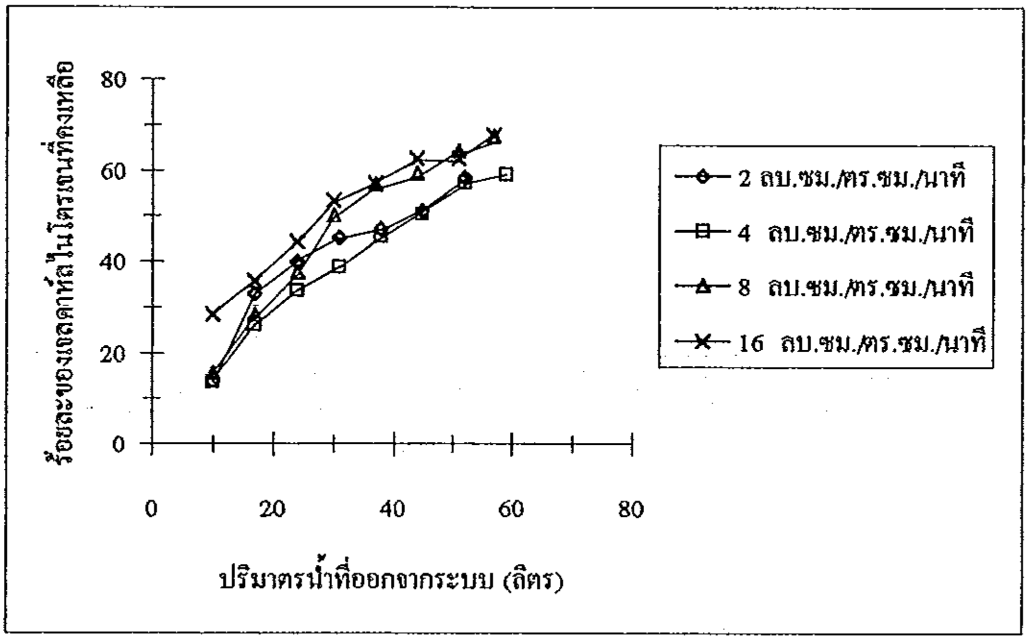
5.7 เจลดาห์ลไนโตรเจนทั้งหมด มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดว่าน้ำที่จะระบายออกจากโรงงานได้ต้องมีค่าเจลดาห์ลไนโตรเจนทั้งหมดไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร จากผลการวิเคราะห์หาเจลดาห์ลไนโตรเจนทั้งหมดพบว่าเจลดาห์ลไนโตรเจนทั้งในน้ำที่เข้าระบบและออกจากระบบในช่วงเวลาต่างๆ ล้วนมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมทั้งสิ้น และพบว่าการผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่ำ จะทำให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับเจลดาห์ลไนโตรเจนได้มากว่าการใช้อัตรน้ำล้นผิวสูง (ภาพประกอบ 29)

5.8 แอมโมเนียไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำที่สำคัญเนื่องจากแอมโมเนียเป็นสารที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยทั่วไปแอมโมเนียมจะอยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียม แต่เมื่อน้ำมีพีเอชสูงเกลือแอมเนียจะสลายตัวให้แอมโมเนียมากขึ้น การที่น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีความเป็นด่างสูงส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากเกลือของแอมโมเนียมที่เกิดขึ้นระหว่างการบำบัดในบ่อไร้อากาศ ประกอบกับการที่น้ำดังกล่าวมีพีเอชสูงจะเป็นปัจจัยที่อาจทำให้น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีแอมโมเนียอยู่ในปริมาณสูง

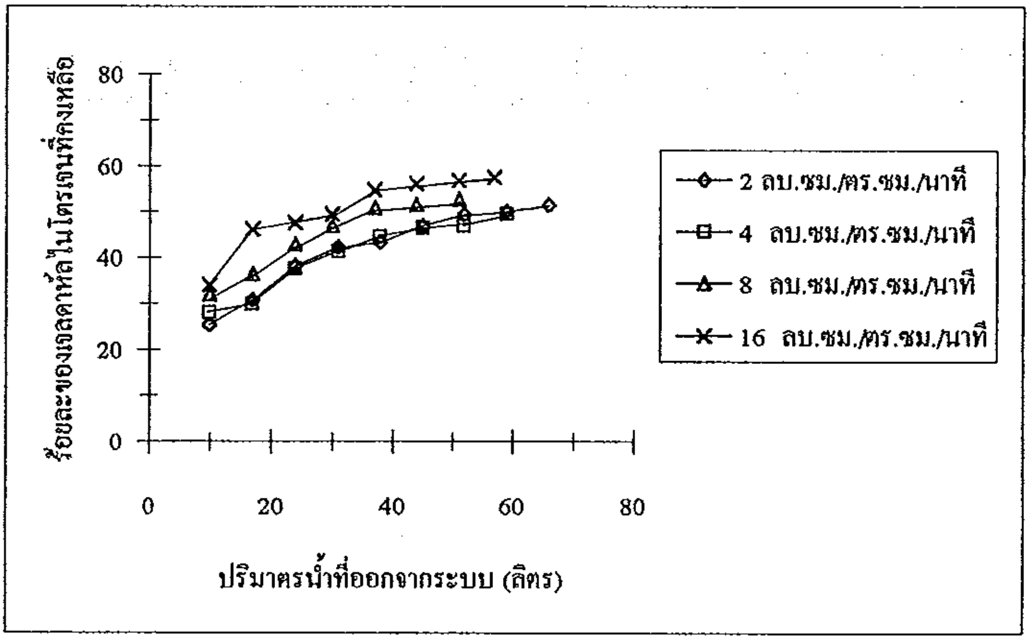
จากการผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับมลสารในรูปแอมโมเนียไนโตรเจนได้ดีในช่วงแรกและความสามารถดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนได้น้อยลงจนแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำที่ออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกับแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำที่เข้าระบบ (ภาพประกอบ 30) อาจกล่าวได้ว่าระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มค่อนข้างต่ำ และการผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่ำจะทำให้ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับมลสารในรูปแอมโมเนียไนโตรเจนได้มากกว่ากรณีที่ใช้อัตราน้ำล้นผิวสูง แม้มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจะไม่ได้กำหนดความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่จะระบายออก แต่มาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินได้กำหนดให้แหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 3 และ 4 มีแอมโมเนียไนโตรเจนได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์หาแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบดูดซับและน้ำที่ออกจากระบบดูดซับ พบว่า

น้ำดังกล่าวมีแอมโมเนียไนโตรเจนเกินเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 3 และ 4 ดังนั้นหากจะระบายน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ออกสู่แหล่งรองรับน้ำสาธารณะ ควรตรวจสอบให้แน่ใจว่าน้ำในแหล่งรองรับน้ำมีแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำ และมีปริมาณน้ำมากพอที่จะเจือจางแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งดังกล่าวให้อยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน

5.9 สี สีเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้ไม่สามารถระบายน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งผ่านกระบวนการบำบัดทางชีววิธีมาแล้วออกสู่แหล่งรองรับน้ำสาธารณะได้ จากการทดลองพบว่าการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับสามารถลดสีในน้ำทิ้งดังกล่าวได้มากพอสมควร และการผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่ำจะทำให้ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสีได้มากกว่าการใช้อัตราน้ำล้นผิวสูง (ภาพประกอบ 31) อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านกัมมันต์จะมีสีเข้มสังเกตเห็นได้ชัดเมื่อน้ำดังกล่าวมีค่าซีโอดีเท่ากับเบรคพอยท์ คือ 120 มิลลิกรัม/ลิตร แต่หากนำน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นจนกระทั่งมีค่าซีโอดีเท่ากับเบรคพอยท์มาผสมเข้าด้วยกันจะทำให้ความเข้มสีของน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านกัมมันต์ในช่วงหลังๆ ลดลงได้ โดยจะสามารถหาค่าสีในน้ำดังกล่าวได้จากพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับสีที่คงเหลือ (ชุดภาพประกอบภาคผนวก ง7) ในกรณีที่ผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที น้ำที่ผ่านออกจากชั้นถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นจนกระทั่งมีค่าซีโอดีเท่ากับเบรคพอยท์ เมื่อรวมเข้าด้วยกันจะมีค่าสี 93 หน่วยสี และกรณีที่ใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* น้ำดังกล่าวจะมีค่าสี 131 หน่วยสี (ภาพประกอบ 32-33 แสดงน้ำที่ออกจากระบบ)

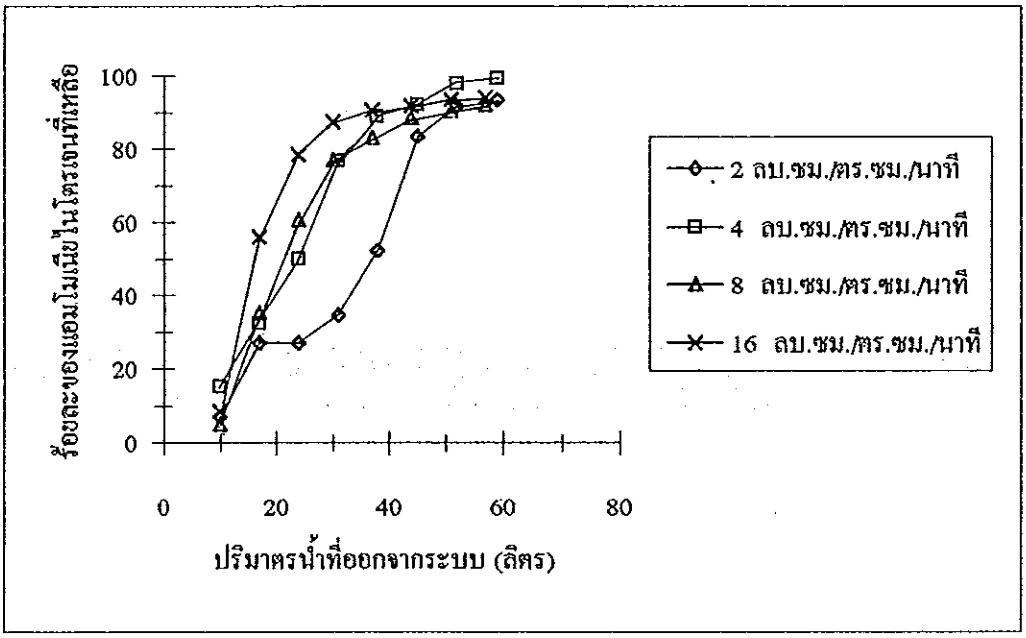


(a) ใช้ถ่านกัมมันต์ ***(D)*** เป็นสารดูดซับ

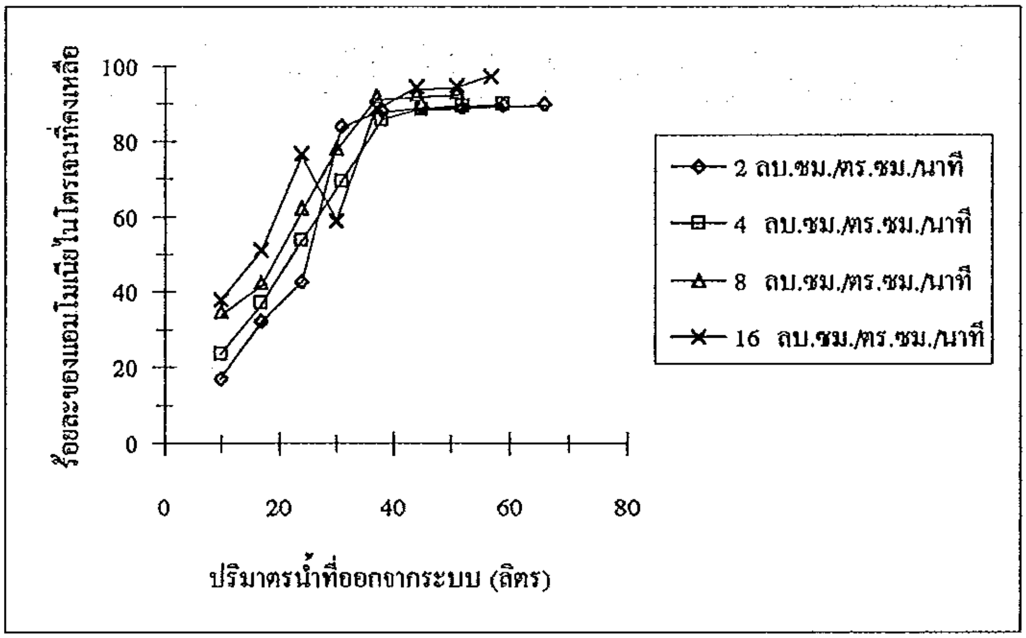


(b) ใช้ถ่านกัมมันต์ ***(E)*** เป็นสารดูดซับ

ภาพประกอบ 29 ร้อยละของเจลดาห์ลไนโตรเจนที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

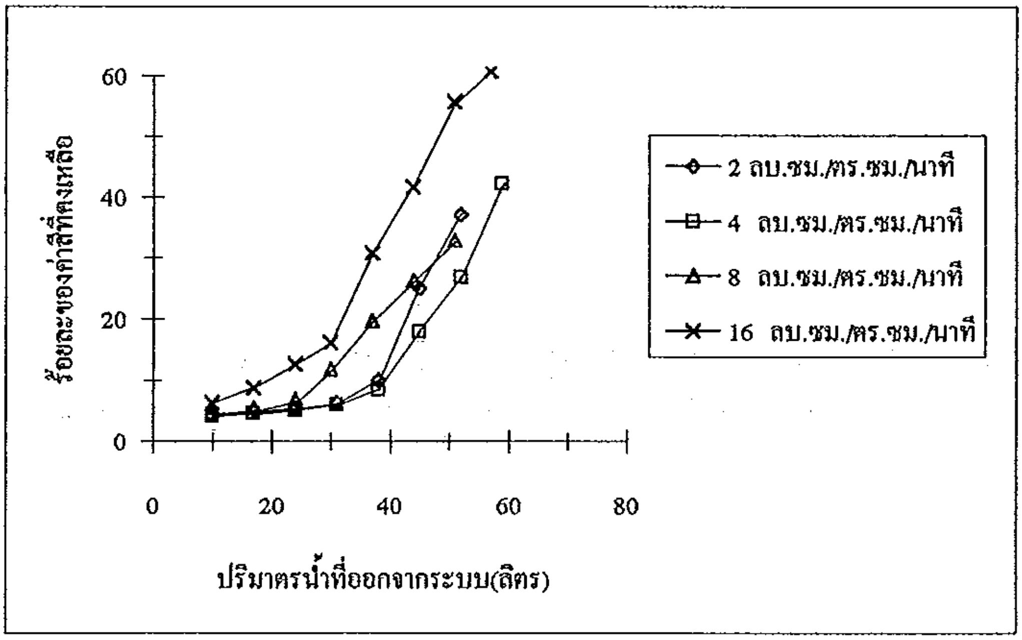


(a) ใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ

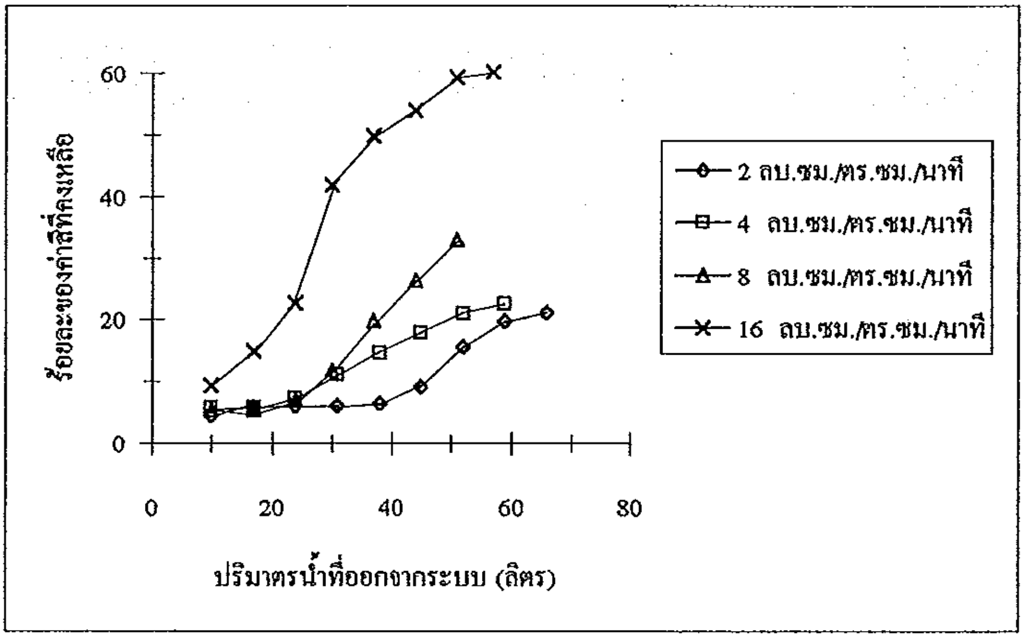


(b) ใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ

ภาพประกอบ 30 ร้อยละของแอมโมเนียไนโตรเจนที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

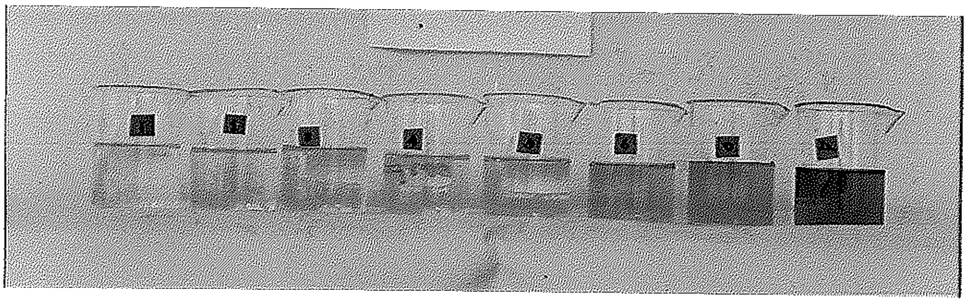


(a) ใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ



(b) ใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ

ภาพประกอบ 31 ร้อยละของค่าสีที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ



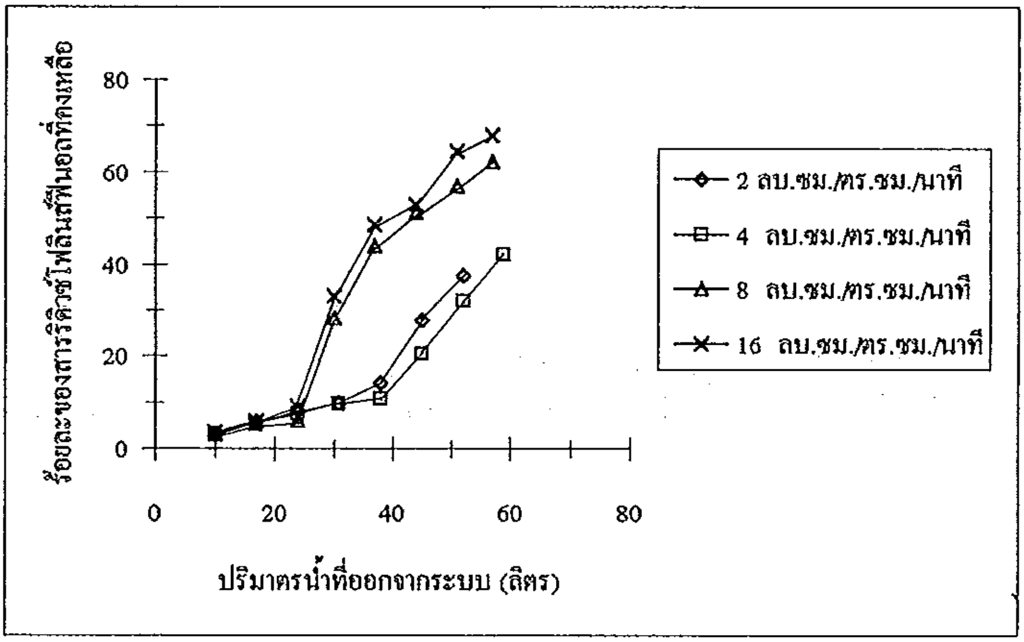
ภาพประกอบ 32 แสดงน้ำที่ผ่านออกจากชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ที่ช่วงเวลา 90-180 นาที, 180-270 นาที, 270-360 นาที, 360-450 นาที, 450-540 นาที, 540-630 นาที, 630-720 นาที และน้ำเข้าระบบ (เรียงจากซ้ายไปขวา) เมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

ภาพประกอบ 33 แสดงน้ำที่ผ่านออกจากชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ช่วงเวลา 90-180 นาที, 180-270 นาที, 270-360 นาที, 360-450 นาที, 450-540 นาที, 540-630 นาที, 630-720 นาที 720-810 นาที, 810-900 นาที และน้ำเข้าระบบ (เรียงจากซ้ายไปขวา) เมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

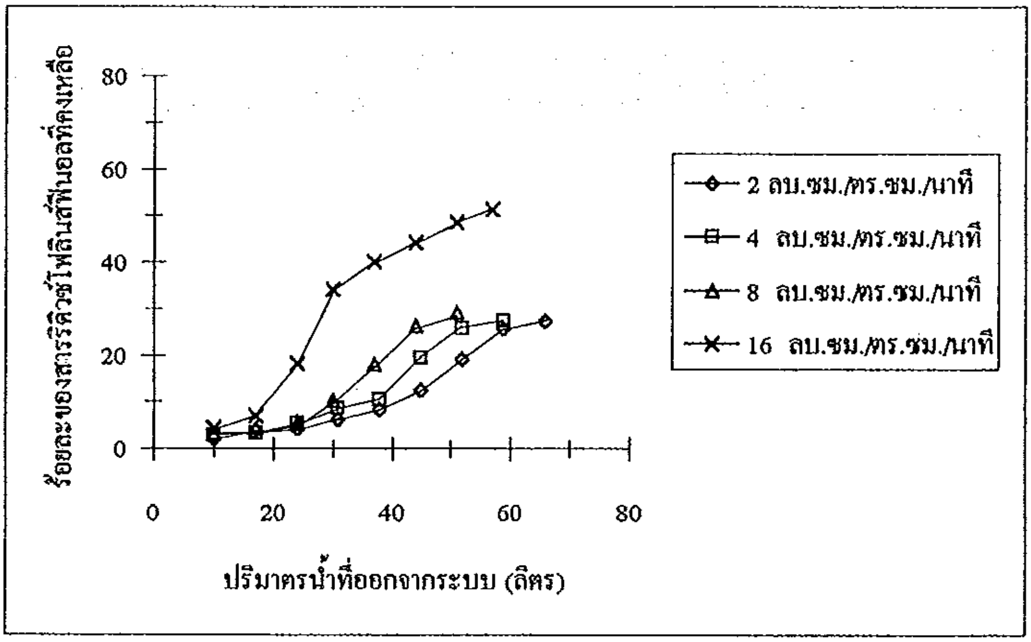
5.10 สารริดิวซ์โฟลินส์ฟีนอล จากการคาดการณ์ว่าสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นสารในกลุ่มฮิวมิค ดัชนีที่สามารถประเมินปริมาณสารในกลุ่มฮิวมิคได้คือสารรีดิวซ์โฟลินส์ฟีนอล เนื่องจากสารในกลุ่มฮิวมิคจะมีกลุ่มอะโร-มาติกไฮดรอกซิลประกอบอยู่ในโมเลกุล

จากหลักการที่ว่าสารประกอบที่มีกลุ่มอะโรมาติกไฮดรอกซิลเมื่อทำปฏิกิริยากับโฟลินส์ฟีนอล (tungstophosphoric and molybdophosphoric acid) จะให้สีน้ำเงินที่เทียบเคียงได้กับสีน้ำเงินที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโฟลินส์ฟีนอลกับสารละลายมาตรฐานของฟีนอล สารประกอบที่มีกลุ่มอะโรมาติกไฮดรอกซิลในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและสามารถทำปฏิกิริยากับโฟลินส์ฟีนอลได้นอกจากจะเป็นสารในกลุ่มฮิวมิคแล้ว อาจเป็นสารประกอบจำพวกโปรตีน กรดนิวคลีอิค น้ำตาล ฟรุกโตส หรือ สารประกอบเอมีน (APHA, AWWA and WEF, 1992) ดังนั้นสารรีดิวซ์โฟลินส์ฟีนอลจะเป็นดัชนีที่สามารถประเมินปริมาณสารในกลุ่มฮิวมิคในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้เพียงคร่าวๆ

จากการทดลองพบว่าการวิเคราะห์หาสารริดิวซ์โฟลินส์ฟีนอล จะให้ผลที่คล้ายกับผลการวิเคราะห์หาค่าสี กล่าวคือเมื่อผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่ำ ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มีแนวโน้มที่จะสามารถดูดซับสารริดิวซ์โฟลินส์ฟีนอลไว้ได้มากกว่ากรณีที่ใช้อัตราน้ำล้นผิวสูง (ภาพประกอบ 34)



(a) ใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ



(b) ใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ

ภาพประกอบ 34 ร้อยละของสารริคิวซ์โฟลินส์ฟีนอลที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

จากการทดลองผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* และ ถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 4 8 และ 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที และประเมินคุณภาพน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านกัมมันต์ โดยกำหนดเบรคพอยท์เมื่อซีโอดีมีค่า 120 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าหากมีการปรับพีเอชให้ต่ำลงอีกเล็กน้อยน้ำดังกล่าวน่าจะมีคุณภาพดีในระดับที่สามารถระบายออกสู่แหล่งรองรับน้ำสาธาณะได้ แต่การจะนำน้ำที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยชั้นถ่านกัมมันต์กลับไปหมุนเวียนใช้ในกิจกรรมการผลิตของโรงงาน อาจต้องมีการปรับปรุงคุณภาพก่อนเพื่อให้น้ำมีคุณภาพดีพอสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร อย่างไรก็ตามอาจมีความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำดังกล่าวมาใช้โดยตรงสำหรับการสกัดน้ำมันในขั้นการแยกน้ำออกจากน้ำมันโดยใช้เครื่อง separator เนื่องจากกระบวนการสกัดน้ำมันขั้นตอนนี้ต้องมีการเติมน้ำเพื่อช่วยในการแยกระหว่างชั้นน้ำกับชั้นน้ำมัน น้ำที่ผ่านการใช้งานในกระบวนการดังกล่าวแล้วจะเป็นน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกสูง ดังนั้นน้ำที่ใช้เติมในกระบวนการแยกน้ำจากน้ำมันด้วยเครื่อง separator อาจไม่จำเป็นต้องใช้น้ำที่สะอาดมาก และสามารถนำน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มาใช้ในขั้นตอนดังกล่าวได้

6. การนำถ่านจากกะลาปาล์มและถ่านสำหรับหุงต้ม มาใช้ดูดซับซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

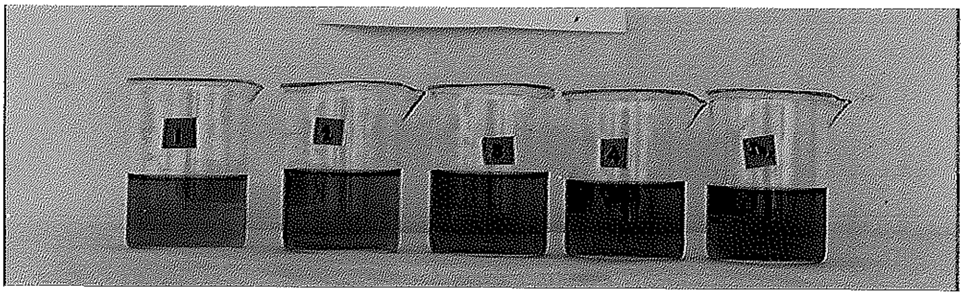
แม้การใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ แต่หากไม่มีการฟื้นฟูคุณภาพภายหลังการใช้งานหรือเป็นการใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง พบว่าค่าใช้จ่ายในการบำบัดจะสูงมากจนไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ จึงได้ทดลองนำถ่านจากกะลาปาล์มและถ่านสำหรับหุงต้มมาใช้แทนถ่านกัมมันต์ โดยถ่านดังกล่าวจะต้องบดและร่อนคัดให้ได้ขนาด 8 x 30 เมช ก่อนจะนำมาใช้ในการทดลอง ซึ่งจะดำเนินการเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับและใช้อัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

จากการทดลองผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกะลาปาล์มด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที พบว่าน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านกะลาปาล์มยังคงมีซีโอดีและค่าสีอยู่ในเกณฑ์สูง (ตาราง 20) จนเห็นได้ชัดเจนว่าน้ำมีสีเข้ม (ภาพประกอบ 35)

ตาราง 20 แสดงค่าซีโอดีและค่าสีในน้ำที่เข้าและออกจากชั้นถ่านกะลาปาล์ม เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

เวลา (นาที)	ซีโอดี (มก./ลิตร)	ค่าสี (หน่วยสี)
90-120	255.10 (85.62)	588 (67.16)
120-150	267.30 (89.73)	668 (76.34)
150-180	273.47 (91.78)	719 (82.13)
180-210	281.63 (94.52)	752 (85.98)
น้ำเข้าระบบ	297.96	875

หมายเหตุ ตัวเลขใน ( ) แสดงร้อยละของมลสารในน้ำที่ออกจากระบบเทียบกับน้ำเข้าระบบ



ภาพประกอบ 35 แสดงน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านกะลาปาล์มในช่วงเวลา 90-120 นาที, 120-150 นาที, 150-180 นาที, 180-210 นาที และ น้ำเข้าระบบ (เรียงจากซ้ายไปขวา)

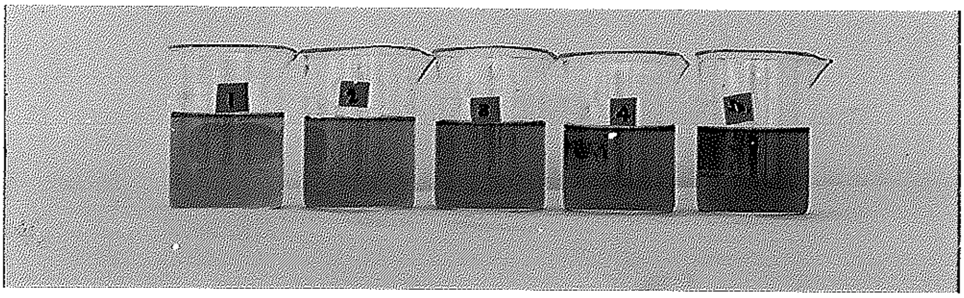
จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าถ่านกะลาปาล์มมีความสามารถในการดูดซับซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มน้อยมาก และเมื่อใช้ถ่านสำหรับหุงต้มมาทำการทดลองในลักษณะเดียวกับกรณีที่ใช้ถ่านกะลาปาล์ม พบว่าถ่านสำหรับหุงต้มมีความสามารถในการดูดซับซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มน้อยเช่น

เดียวกับถ่านกะลาปาล์ม (ตาราง 21) และน้ำที่ผ่านชั้นถ่านสำหรับหุงต้มก็ยังคงมีสีเข้ม (ภาพประกอบ 36)

ตาราง 21 แสดงค่าซีโอดีและค่าสีในน้ำที่เข้าและออกจากชั้นถ่านสำหรับหุงต้มเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

เวลา (นาที)	ซีโอดี (มก./ลิตร)	ค่าสี (หน่วยสี)
90-135	218.71 (76.71)	391 (44.96)
135-180	222.62 (78.08)	520 (59.84)
180-225	246.05 (86.30)	587 (67.55)
225-270	249.96 (87.67)	644 (74.11)
น้ำเข้าระบบ	285.11	869

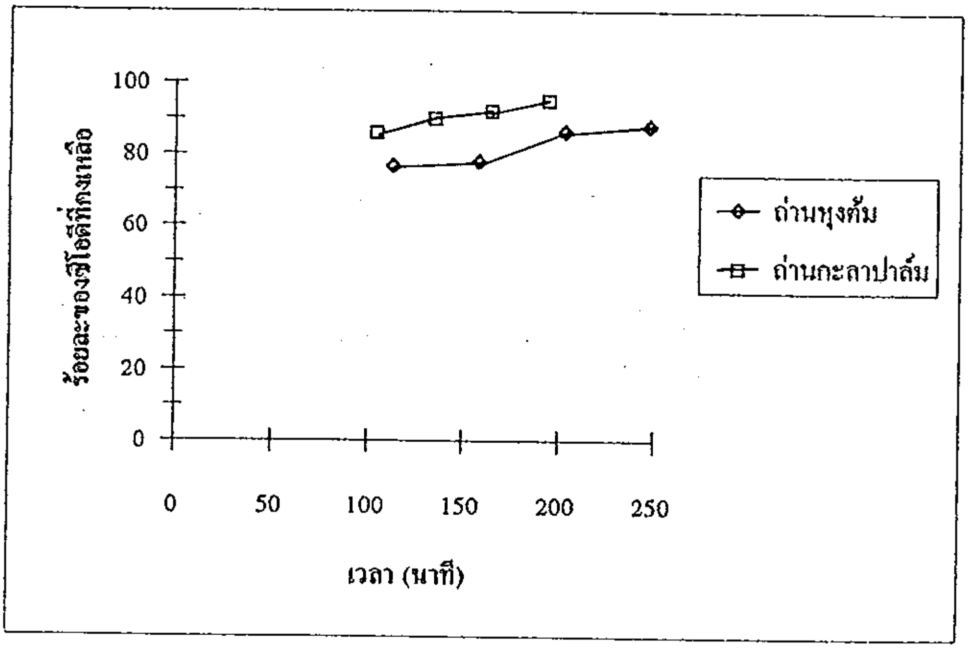
<u>หมายเหตุ</u> ตัวเลขใน ( ) แสดงร้อยละของมลสารในน้ำที่ออกจากระบบเทียบกับน้ำเข้าระบบ



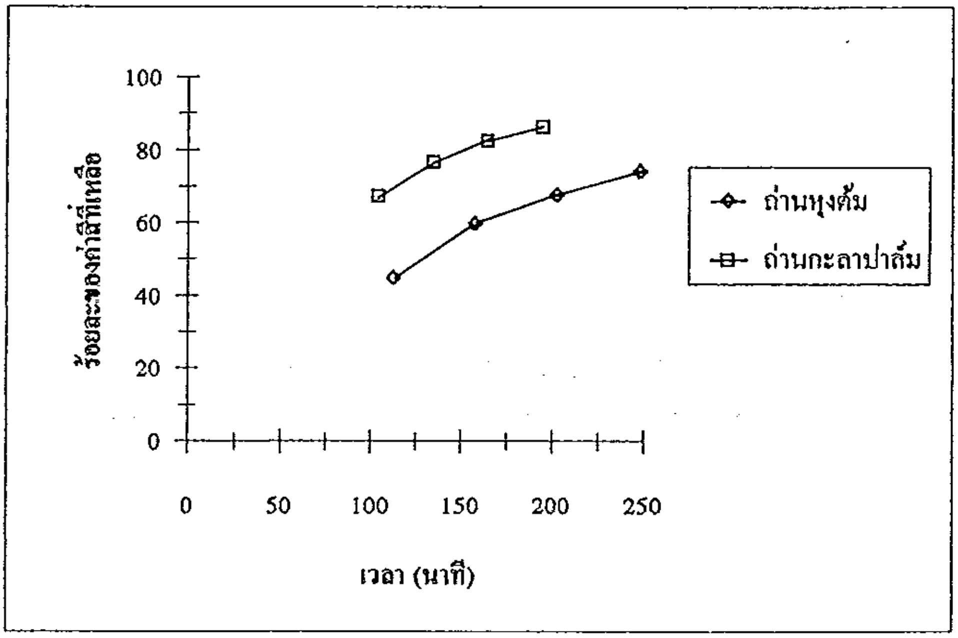
ภาพประกอบ 36 แสดงน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านสำหรับหุงต้มในช่วงเวลา 90-135 นาที, 135- 180 นาที, 180-225 นาที, 225-270 นาที และ น้ำเข้าระบบ (เรียงจาก ซ้ายไปขวา)

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละของซีโอดีที่คงเหลือในน้ำที่ผ่านออกจากชั้นถ่าน (ภาพประกอบ 37) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละของค่าสีที่คงเหลือในน้ำที่ผ่านออกจากชั้นถ่าน (ภาพประกอบ 38) จะเห็นได้ว่าถ่านสำหรับ

หุงต้มมีแนวโน้มที่จะสามารถดูดซับซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้ดีกว่าถ่านกะลาปาล์ม อย่างไรก็ตามถ่านที่ไม่ผ่านกระบวนการกระตุ้น (activate) เพื่อเพิ่มความพรุนและพื้นที่ผิวภายใน ย่อมมีความสามารถในการดูดซับน้อยเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ และในกรณีถ่านกะลาปาล์มและถ่านสำหรับหุงต้ม พบว่าถ่านทั้งสองชนิดดังกล่าวมีความสามารถในการดูดซับซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มน้อยมากจนไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในงานปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม



ภาพประกอบ 37 แสดงร้อยละของซีโอดีที่คงเหลือในน้ำที่ผ่านออกจากชั้นถ่านกะลาปาล์มและ ถ่านสำหรับหุงต้ม



ภาพประกอบ 38 แสดงร้อยละของค่าสีที่คงเหลือในน้ำที่ผ่านออกจากชั้นถ่านกะลาปาล์มและถ่านสำหรับหุงต้ม

7. การใช้ถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพเป็นสารดูดซับมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับซีโอดีและสีในตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้ดีพอสมควร แต่หากเป็นการใช้ถ่านกัมมันต์แล้วไม่ทำการฟื้นสภาพเพื่อนำมาใช้งานใหม่ ระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จะเป็นระบบที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากจนไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ และแม้ว่าการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายสำหรับระบบดูดซับ แต่การฟื้นสภาพซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆได้แก่ การอบให้ถ่านแห้ง การเผาในสภาวะไร้อากาศ และการอบด้วยก๊าซที่อุณหภูมิสูง อาจทำได้ไม่ง่ายนักและต้องใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นสำหรับฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์โดยเฉพาะ อย่างไรก็ตามสำหรับถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม การเผาที่อุณหภูมิสูงในสภาวะไร้อากาศน่าจะเป็นการพอเพียงที่จะฟื้นคุณภาพถ่านกัมมันต์ดังกล่าวได้เนื่องจากมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ถูกถ่านกัมมันต์ดูดซับไว้ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งสามารถกำจัดออกจากพื้นผิวภายในของถ่านได้ด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง

ดังนั้นในการทดลองขั้นนี้จึงนำถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ผ่านการทดลองใช้ดูดซับมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมาฟื้นสภาพ โดยเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่น้ำจนอิ่มตัวจากนั้นจึงนำมาใช้ทำการทดลองเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้ถ่านกัมมันต์ซึ่งยังไม่ผ่านการใช้งาน กล่าวคือบรรจุถ่านกัมมันต์ฟื้นสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำลงในคอลัมน์ของแบบจำลองจนได้ชั้นถ่านกัมมันต์สูง 187 เซนติเมตร จากนั้นจึงผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที ซึ่งเป็นอัตราน้ำล้นผิวต่ำสุดที่ใช้ในการทดลองที่ผ่านมาและพบว่าอัตราน้ำล้นผิวดังกล่าวเอื้ออำนวยให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับมลสารไว้ได้มากกว่ากรณีที่ใช้อัตราน้ำล้นผิวที่สูงกว่า เมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์แล้วจึงเก็บตัวอย่างน้ำจากระดับความลึกต่างๆ ของชั้นถ่านกัมมันต์รวมถึงน้ำที่ออกจากระบบเพื่อหาค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับและประเมินคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบ

7.1 การหาค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่าน กรณีใช้ถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพเป็นสารดูดซับ

จากการทดลองได้ทำการผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที แล้วนำตัวอย่างน้ำซึ่งผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ที่ระดับความลึกต่างๆมาวิเคราะห์หาซีโอดีและใช้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ (ตารางภาคผนวก ค3) เขียนกราฟเบรคทรู (ชุดภาพประกอบภาคผนวก ง3) แล้วหาระยะเวลาใช้งานจากกราฟเบรคทรู โดยกำหนดเบรคพอยท์เมื่อซีโอดีมีค่า 120 มิลลิกรัม/ลิตร จากนั้นจึงหาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน (ชุดภาพประกอบภาคผนวก ง6) และค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับตามสมการของ Adams และ Bohart ได้แก่ค่า N_0, K และ D_0 (ตารางภาคผนวก ค4)

เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มระหว่างถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานกับถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพ จึงทำเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า N_0 K และ D_0 ที่ได้จากการทดลองใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* และ ถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน กับค่าเฉลี่ย N_0 K และ D_0 ซึ่งได้จากการทดลองใช้ถ่านกัมมันต์ถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ผ่านการฟื้นสภาพ (ตาราง 22)

ตาราง 22 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่าน เมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ถ่านกัมมันต์ *(E)* และ ถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพ ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

ตัวอย่างถ่านกัมมันต์	ค่าคงที่		
	N_0 (มก./ลิตร)	K (มล./มก./นาที)	D_0 (เซนติเมตร)
1. ถ่านกัมมันต์ *(D)*	2150.39 a	0.02003 b	17.43 a
2. ถ่านกัมมันต์ *(E)*	3926.41 b	0.00703 a	22.50 b
3. ถ่านกัมมันต์ *(E)* (ฟื้นสภาพ)	4524.04 c	0.00580 a	21.91 b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าคงที่พบว่าการทดลองโดยใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพเป็นสารดูดซับจะแสดงค่าเฉลี่ย N_0 ที่สูงที่สุดและมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ย N_0 กรณีที่ใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* และ ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ สำหรับค่าเฉลี่ย K และ D_0 ซึ่งได้จากการทดลองที่ใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพเป็นสารดูดซับ แม้ว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติจากค่าเฉลี่ย K และ D_0 ซึ่งได้จากการทดลองที่ใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ แต่เป็นค่าเฉลี่ย K และ D_0 ที่ต่ำที่สุด

จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ผ่านการดูดซับมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมาฟื้นสภาพ โดยการเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก็จะสามารถนำถ่านดังกล่าวกลับมาใช้งานได้อีกครั้ง และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยวิธีข้างต้นจะสามารถดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน สอดคล้องกับผลการทดลองซึ่งพบว่าการฟื้นคุณภาพถ่านกัมมันต์โดยใช้เตาเผาอินฟราเรด (infrared furnace) จะทำให้ถ่านกัมมันต์มีค่าโมลาสเสสนัมเบอร์สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (ตาราง 23) ซึ่งค่าโมลาสเสสนัมเบอร์เป็นดัชนีชี้วัดความสามารถในการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ (McGinnis, 1981)

ตาราง 23 แสดงโมลาสเสสนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพโดยใช้เตาเผาอินฟราเรด

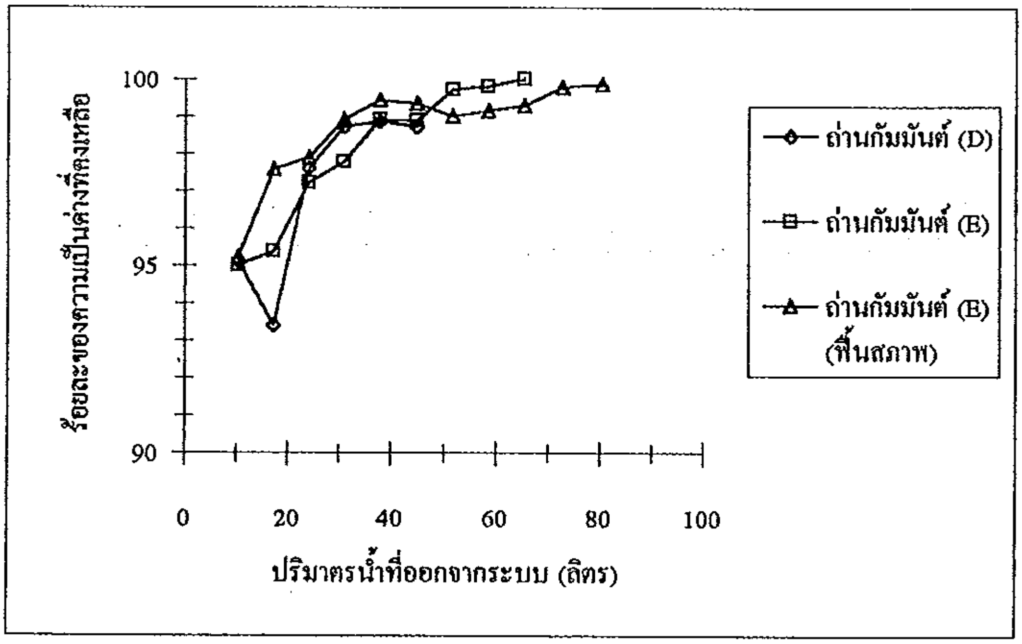
carbon	apparent density (g/cc)	molasses number
ICI Hydrodarco 3000		
virgin	0.352	333
regenerated	0.397	380
Carborundum		
virgin	0.525	232
regenerated	0.523	220
Calgon Filtrasorb 400		355
virgin	0.481	349
regenerated	0.489	
Westvaco Nuchar WV-W		
virgin	0.594	371
regenerated	0.593	380

ที่มา : คัดแปลงจาก McGinnis (1981)

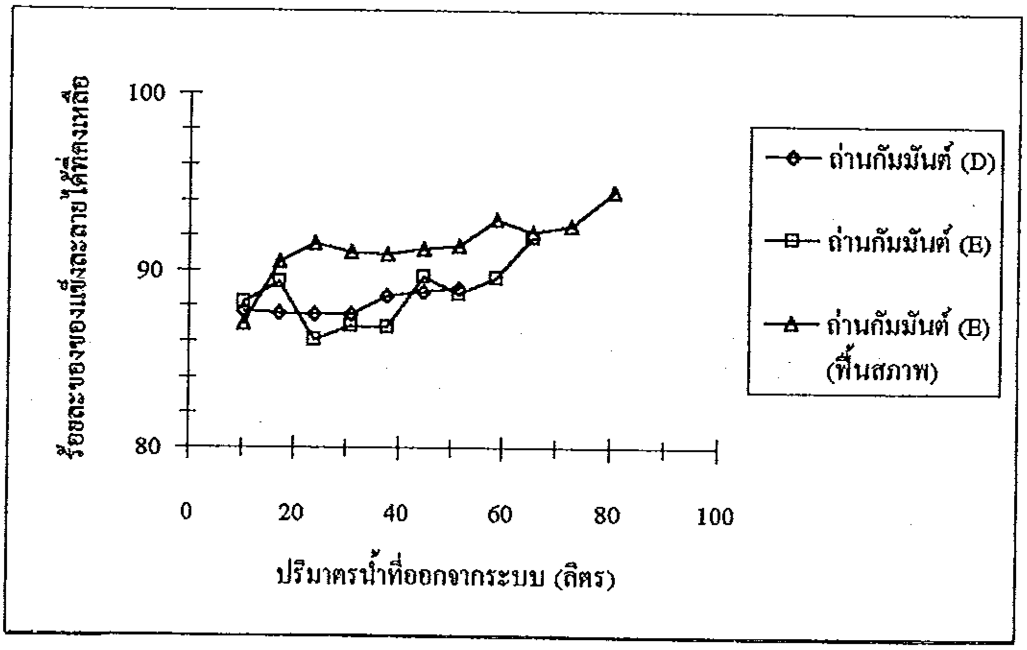
7.2 การประเมินคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพ

จากการผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที เข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพสูง 187 เซนติเมตร และได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี (ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางภาคผนวก ค5) พบว่าถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพดูดซับมลสารในภาพประกอบความเป็นด่างและของแข็งละลายได้ไว้ได้ ไม่มากนัก (ภาพประกอบ 39-40) เช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้ถ่านกัมมันต์ซึ่งยังไม่ผ่านการใช้งานเป็นสารดูดซับ ในขณะที่ของแข็งแขวนลอย และบีโอดีที่

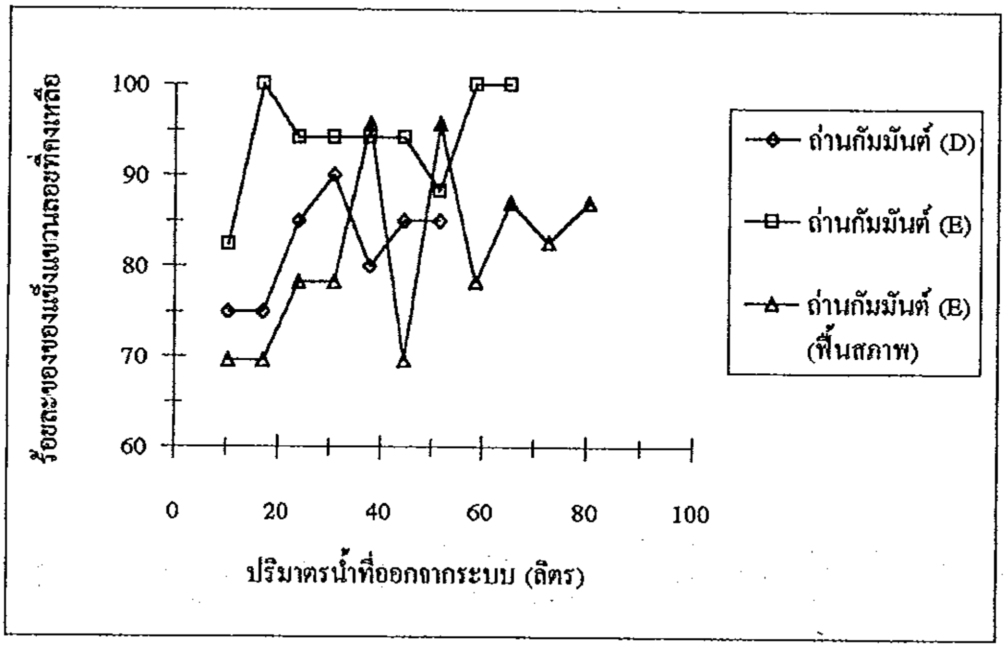
วิเคราะห์ได้มีการแกว่งตัวอยู่ในช่วงแคบๆค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากน้ำที่เข้าระบบ ซึ่งผลการทดลองในลักษณะดังกล่าวจะคล้ายกับผลการทดลองในกรณีที่ใช้ถ่านกัมมันต์ซึ่งยังไม่ผ่านการใช้งานเป็นสารดูดซับ แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าชั้นถ่านกัมมันต์ตัวอย่างใดจะสามารถลดของแข็งแขวนลอยหรือบีโอดีได้มากที่สุด (ภาพประกอบ 41-42) สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี เจลดาห์ลไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน ค่าสี และ สารริดิวซ์โพลินส์ฟีนอล จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านระบบเพิ่มขึ้น และถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพสามารถดูดซับมลสารข้างต้นได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ซึ่งยังไม่ผ่านการใช้งาน (ภาพประกอบ 43-47) (ภาพประกอบ 48 แสดงน้ำที่ออกจากระบบเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพเป็นสารดูดซับ)



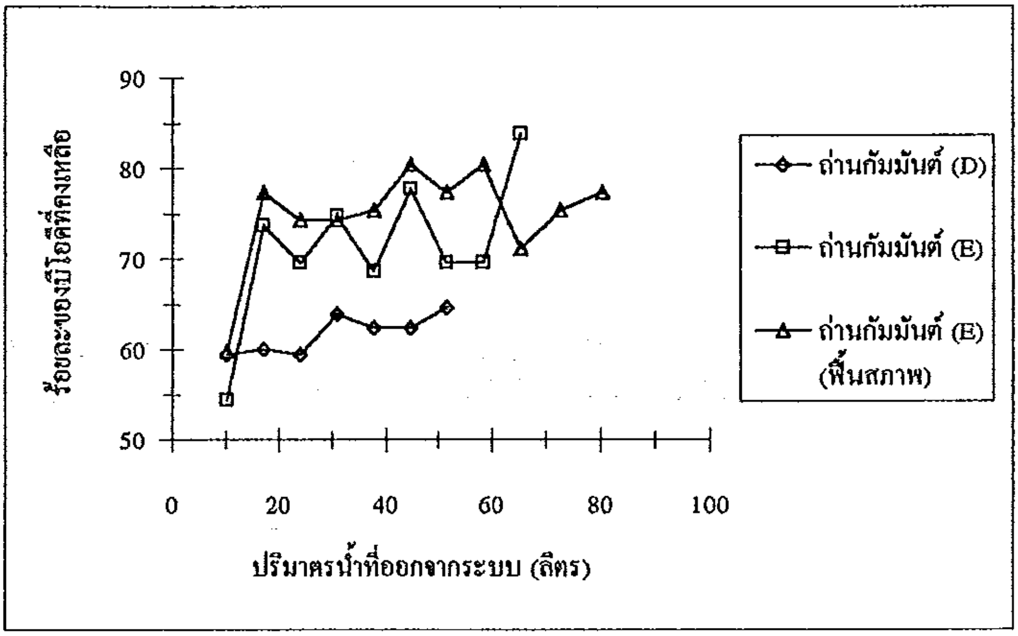
ภาพประกอบ 39 ร้อยละของความเป็นด่างที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที



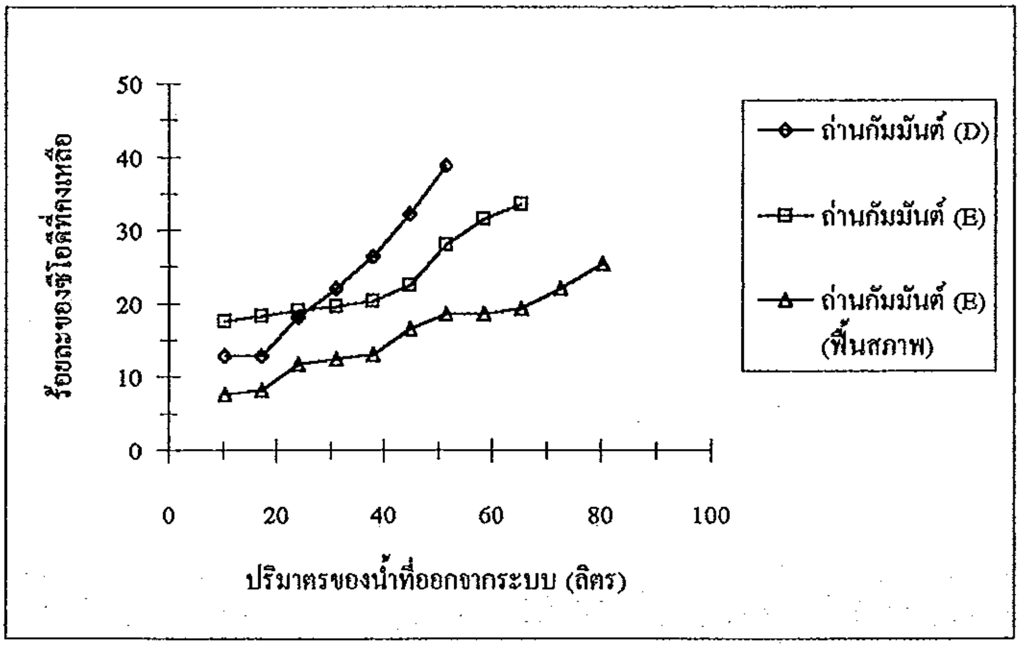
ภาพประกอบ 40 ร้อยละของของแข็งละลายได้ที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้น ผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม/นาที



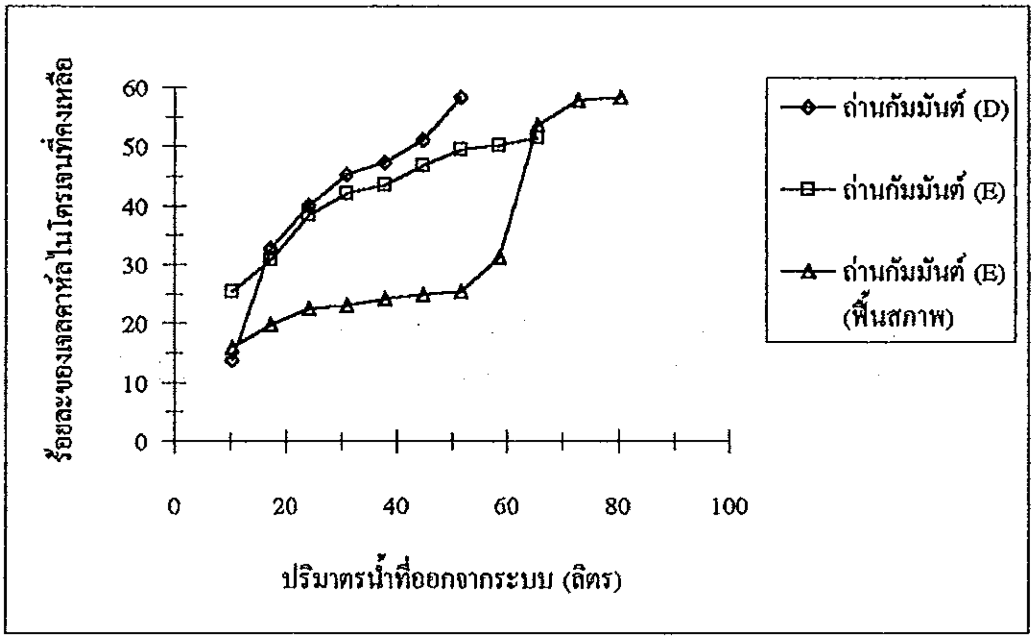
ภาพประกอบ 41 ร้อยละของของแข็งแขวนลอยที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้น ผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม/นาที



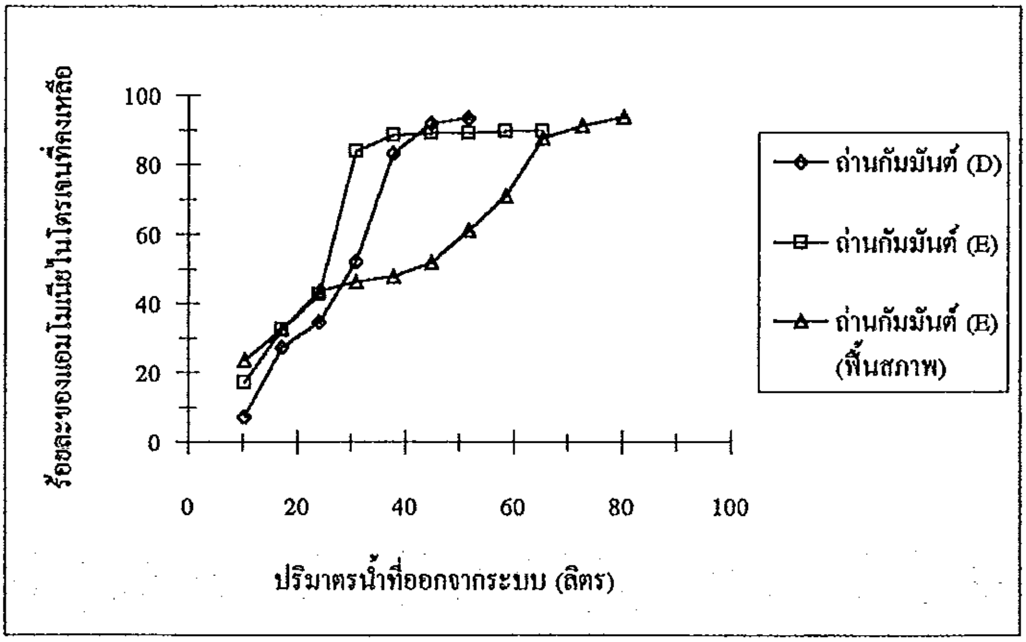
ภาพประกอบ 42 ร้อยละของบีโอดีได้ที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม/นาที



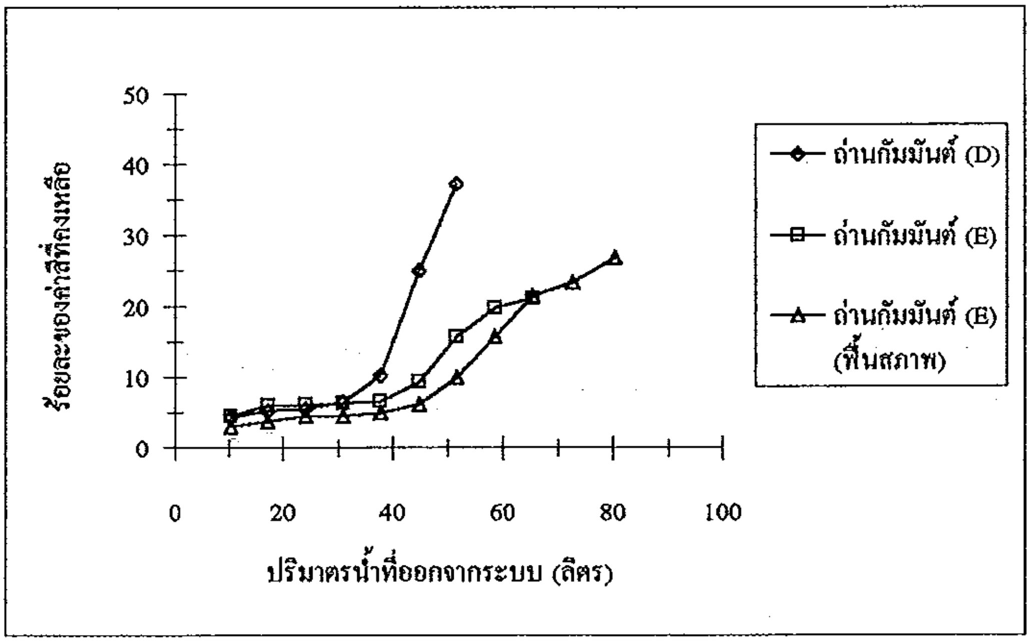
ภาพประกอบ 43 ร้อยละของซีโอดีได้ที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม/นาที



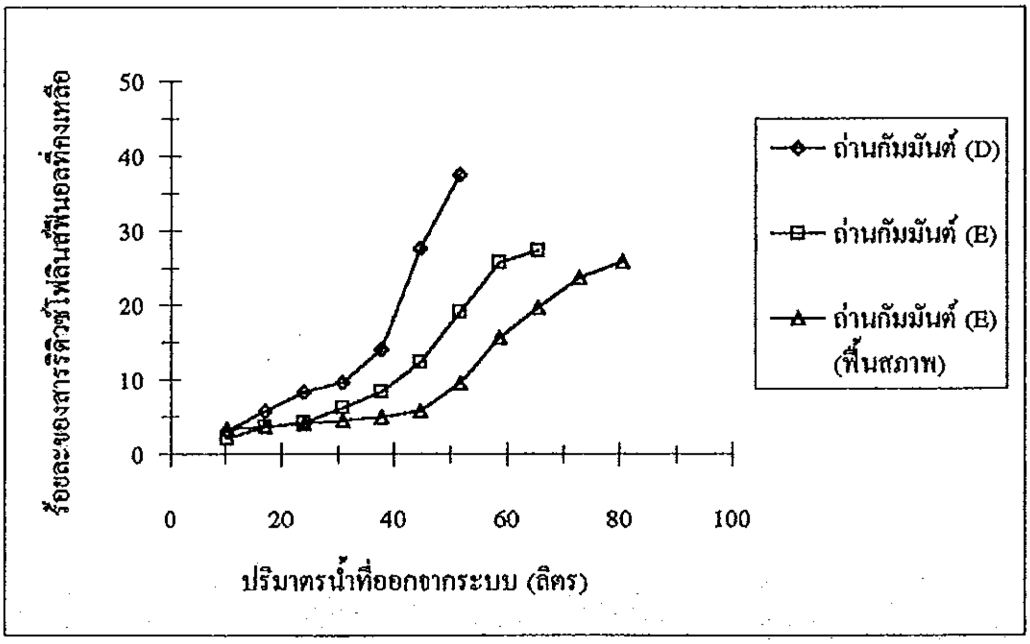
ภาพประกอบ 44 ร้อยละของเจลดาลห์ไนโตรเจนได้ที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้น ผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม/นาที



ภาพประกอบ 45 ร้อยละของแอมโมเนียไนโตรเจนที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้น ผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม/นาที



ภาพประกอบ 46 ร้อยละของค่าสีที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม/นาที



ภาพประกอบ 47 ร้อยละของสารริดิวซ์โฟลินส์ฟีนอลที่คงเหลือเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม/นาที

ภาพประกอบ 48 แสดงน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพที่ช่วงเวลา 90-180 นาที, 180-270 นาที, 270-360 นาที, 360-450 นาที, 450-540 นาที, 540-630 นาที, 630-720 นาที 720-810 นาที, 810-900 นาที, 900-1000 นาที, 1000-1100 นาที และน้ำเข้าระบบ (เรียงจากซ้ายไปขวา) เมื่อผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

หากดำเนินการผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพ จนกระทั่งน้ำที่ออกจากระบบมีค่าซีโอดีเท่ากับ 120 มิลลิกรัม/ลิตร และนำน้ำที่ผ่านออกจากระบบดูดซับตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นจนกระทั่งถึงเบรคพอยท์มารวมกัน พบว่าน้ำดังกล่าวจะมีค่าซีโอดี 82.25 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าสี 126 หน่วยสี (ชุดภาพประกอบภาคผนวก ง7)

8. การใช้ถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพหลายๆ ครั้งเป็นสารดูดซับซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าสามารถนำถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูงมาใช้ดูดซับซีโอดีและสีในตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้อีกครั้ง แต่ถ่านกัมมันต์ดังกล่าวผ่านการฟื้นสภาพเพียง 1 ครั้ง จึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพมากกว่า 1 ครั้ง จะสามารถนำมาใช้ดูดซับมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้หรือไม่ ดังนั้นจึงนำถ่านกัมมันต์ *(E)* มาแช่น้ำจนอิ่มตัวบรรจุลงในคอลัมน์ของแบบจำลอง (ภาพประกอบ 11) จนได้ชั้นถ่านกัมมันต์สูง 30

น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้หรือไม่ ดังนั้นจึงถ่านกัมมันต์ *(E)* มาแช่น้ำจนอิ่มตัวบรรจุลงในคอลัมน์ของแบบจำลอง (ภาพประกอบ 11) จนได้ชั้นถ่านกัมมันต์สูง 30 เซนติเมตร จากนั้นจึงผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 1.17 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที เป็นเวลา 150 นาทีและเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านในช่วง 25 นาที เพื่อวิเคราะห์ซีโอดีและค่าสีที่เหลือ สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วจะนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาที่ 650 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาใช้ทำการทดลองและทำการฟื้นสภาพดังรายละเอียดข้างต้นอีก 10 ครั้ง

จากผลการวิเคราะห์หาซีโอดีและค่าสีในน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นถ่านกัมมันต์ทุกช่วง 25 นาที (ตารางภาคผนวก ค6) แล้วทำเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยซีโอดีและสีในน้ำที่ออกจากระบบ (ตาราง 24) พบว่าการทดลองครั้งที่ 1 ซึ่งเป็นการใช้ถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานเป็นสารดูดซับ ค่าเฉลี่ยของค่าซีโอดีและค่าสีในน้ำที่ผ่านออกจากระบบในช่วงเวลา ตั้งแต่ 25-150 นาที มีค่าสูงกว่าและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากค่าเฉลี่ยซีโอดีและค่าสีในน้ำที่ออกจากระบบกรณีที่ทำการทดลองโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพ ผลการทดลองดังกล่าวมีความสอดคล้องกับผลการทดลองในขั้นที่ผ่านมาซึ่งเป็นการผ่านน้ำเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นสภาพ เพื่อหาค่าคงที่สำหรับออกแบบระบบดูดซับและเพื่อประเมินคุณภาพน้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยชั้นถ่าน และจากค่าเฉลี่ยของค่าซีโอดีและค่าสีกรณีใช้ถ่านกัมมันต์ฟื้นสภาพครั้งที่ 1-10 จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นคุณภาพด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูงหลายครั้ง มีแนวโน้มที่จะดูดซับสีและซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้ดีขึ้น โดยเฉพาะกรณีของค่าสี

ตาราง 24 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของซีโอดีและค่าสีในน้ำที่ออกจากระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้	ค่าเฉลี่ยซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าเฉลี่ยค่าสี (หน่วยสี)
ถ่านกัมมันต์ใหม่	91.69 d	143 b
ถ่านกัมมันต์ฟื้นสภาพครั้งที่ 1	64.68 c	71 a
ถ่านกัมมันต์ฟื้นสภาพครั้งที่ 2	61.25 c	62 a
ถ่านกัมมันต์ฟื้นสภาพครั้งที่ 3	60.59 bc	61 a
ถ่านกัมมันต์ฟื้นสภาพครั้งที่ 4	54.03 a	47 a
ถ่านกัมมันต์ฟื้นสภาพครั้งที่ 5	55.44 ab	51 a
ถ่านกัมมันต์ฟื้นสภาพครั้งที่ 6	53.88 a	53 a
ถ่านกัมมันต์ฟื้นสภาพครั้งที่ 7	54.66 a	50 a
ถ่านกัมมันต์ฟื้นสภาพครั้งที่ 8	52.92 a	47 a
ถ่านกัมมันต์ฟื้นสภาพครั้งที่ 9	51.25 a	45 a
ถ่านกัมมันต์ฟื้นสภาพครั้งที่ 10	50.06 a	43 a

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

และเมื่อพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับซีโอดีที่เหลือและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าสีที่เหลือ (ภาพประกอบ 49 และ 50) พบว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการ ใช้งานจะแสดงเส้นกราฟที่อยู่เหนือเส้นกราฟอื่นๆในขณะที่เส้นกราฟกรณีที่ใช้ถ่านกัมมันต์ฟื้นสภาพครั้งที่ 1-10 จะอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานมีอายุการใช้งานสั้นกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพ

จากผลการทดลองที่สอดคล้องกันทั้งในส่วนการวิเคราะห์ทางสถิติและการพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ข้างต้น แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพสามารถดูดซับซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์

ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน และถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพครั้งที่ 1-10 มีความสามารถในการดูดซับสีและซีโอดีใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มที่จะใช้งานได้มากกว่า 10 ครั้ง สาเหตุที่ทำให้ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสีและซีโอดีได้ดีขึ้นเมื่อทำการฟื้นสภาพหลังใช้งานอาจสรุปดังนี้

1. รูพรุนของเม็ดถ่านมีขนาดขยายใหญ่ขึ้น

จากภาพขยายพื้นผิวภายนอกของเม็ดถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (ภาพประกอบ 51) และภาพขยายพื้นผิวภายนอกของเม็ดถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานและฟื้นสภาพโดยการเผาที่อุณหภูมิสูงมาแล้วถึง 10 ครั้ง (ภาพประกอบ 52) จะเห็นได้ค่อนข้างชัดว่ารูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร มีขนาดขยายใหญ่ขึ้นเมื่อทำการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ สำหรับรูพรุนที่มีขนาดประมาณ 1 ไมโครเมตร นั้นอาจมีการขยายขนาดเช่นกันแต่สังเกตเห็นได้ไม่ชัดเท่ารูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า การขยายขนาดตลอดจนการเพิ่มขึ้นของรูพรุนในถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพน่าจะเกิดจากการที่ก๊าซออกซิไดซิง (oxidizing gas) เข้าทำปฏิกิริยากับอะตอมคาร์บอนบางอะตอมในผลึกถ่านภายใต้อุณหภูมิสูง ก๊าซออกซิไดซิงดังกล่าวอาจได้แก่

- ไอน้ำ ไอน้ำในที่นี้เกิดจากความชื้นที่คงเหลืออยู่ในเม็ดถ่านกัมมันต์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างไอน้ำกับอะตอมคาร์บอนในผลึกถ่านจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 750 - 950 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน 37 กิโลแคลอรีต่อกรัมโมล ดังสมการ

$$C + H_2O \longrightarrow H_2 + CO$$

ΔH = +37 กิโลแคลอรีต่อกรัมโมล

- คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์จะดึงเอาอะตอมของคาร์บอนออกจากผลึกถ่านเกิดเป็นคาร์บอนมอนนอกไซด์โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 850-1,100 องศาเซลเซียส และเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน 43 กิโลแคลอรีต่อกรัมโมล ดังสมการ

$$CO_2 + C \longrightarrow 2CO$$

ΔH = +43 กิโลแคลอรีต่อกรัมโมล

- ออกซิเจน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างออกซิเจนกับอะตอมคาร์บอน เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังสมการ

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$

ΔH = -92.4 กิโลแคลอรีต่อกรัมโมล

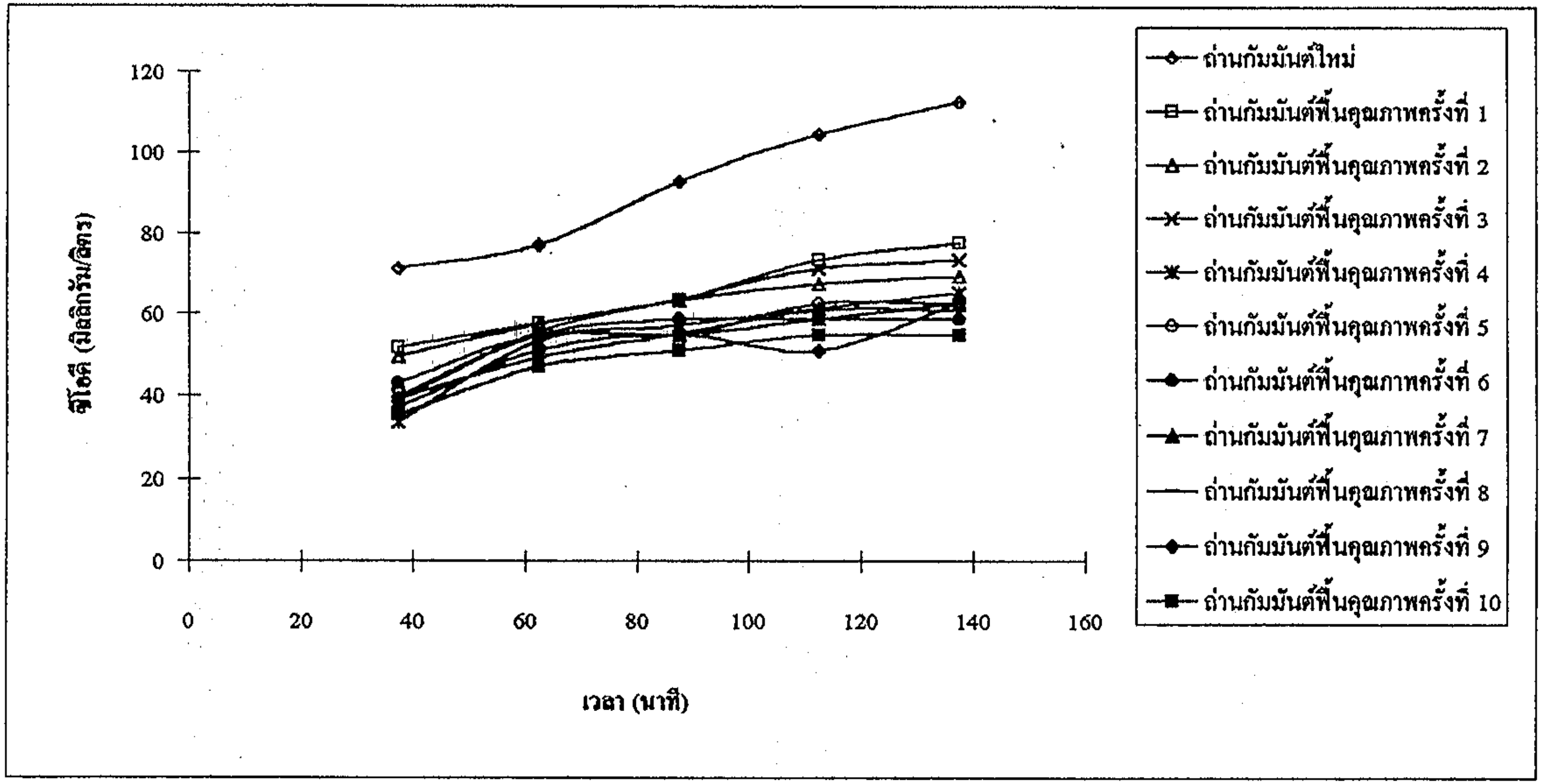
$$2C + O_2 \longrightarrow 2CO$$

ΔH = -54 กิโลแคลอรีต่อกรัมโมล (สงวนเกียรติ ล้วนรัตนากร, 2528)

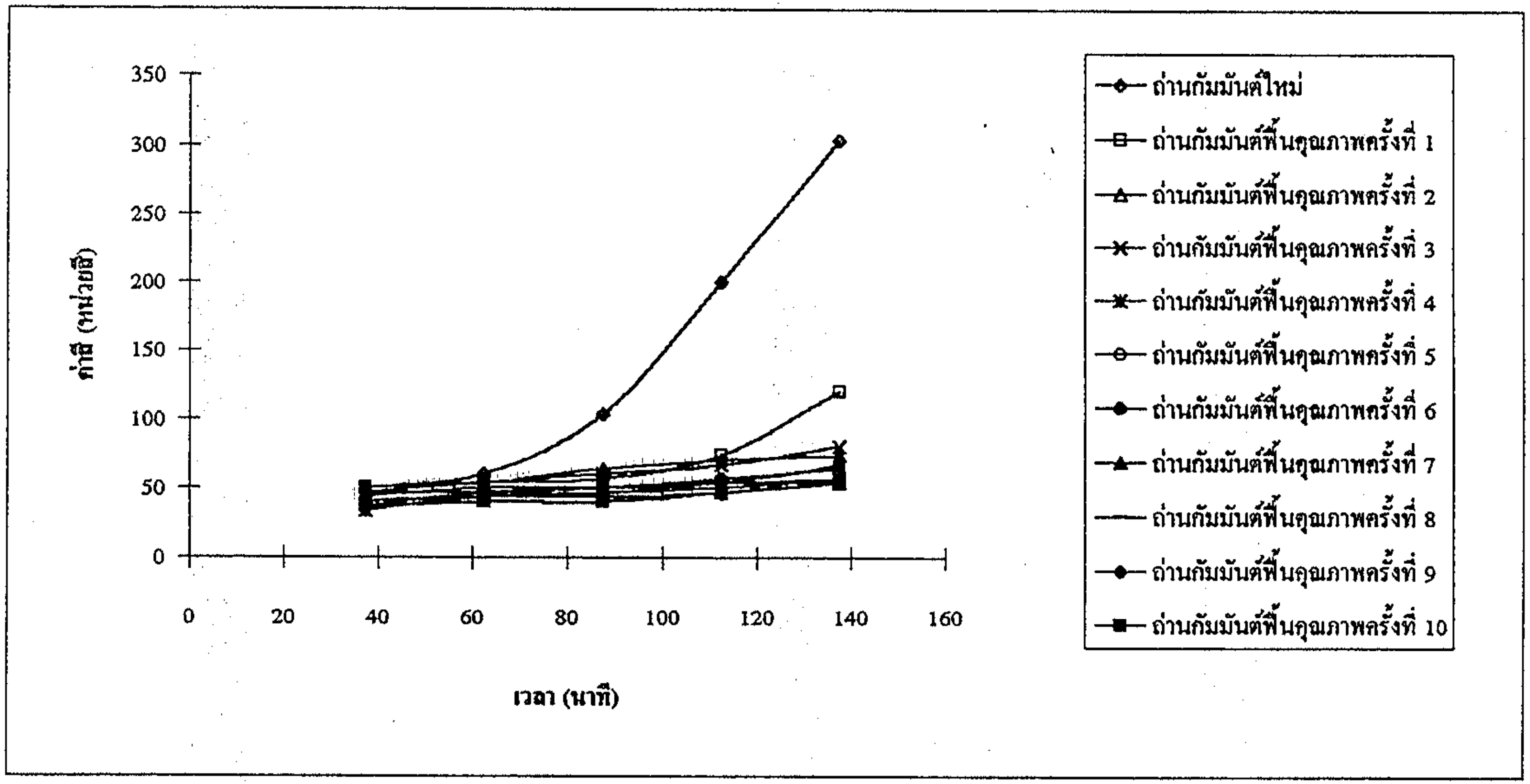
เมื่อสีหรือซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นสารโมเลกุลใหญ่ การที่โพรงภายในหรือรูพรุนของถ่านกัมมันต์มีขนาดใหญ่ขึ้นถ่านกัมมันต์ย่อมดูดซับสีหรือซีโอดีดังกล่าวได้ดีขึ้น

2. การฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์จะทำให้เม็ดถ่านเปราะและแตกหักง่ายขึ้น การแตกหักของเม็ดถ่านทำให้เม็ดถ่านมีขนาดเล็กลงและมีพื้นที่ผิวภายนอกมากขึ้น เป็นสาเหตุอีกประการที่อาจทำให้ชั้นถ่านดูดซับสีและซีโอดีได้ดีขึ้น

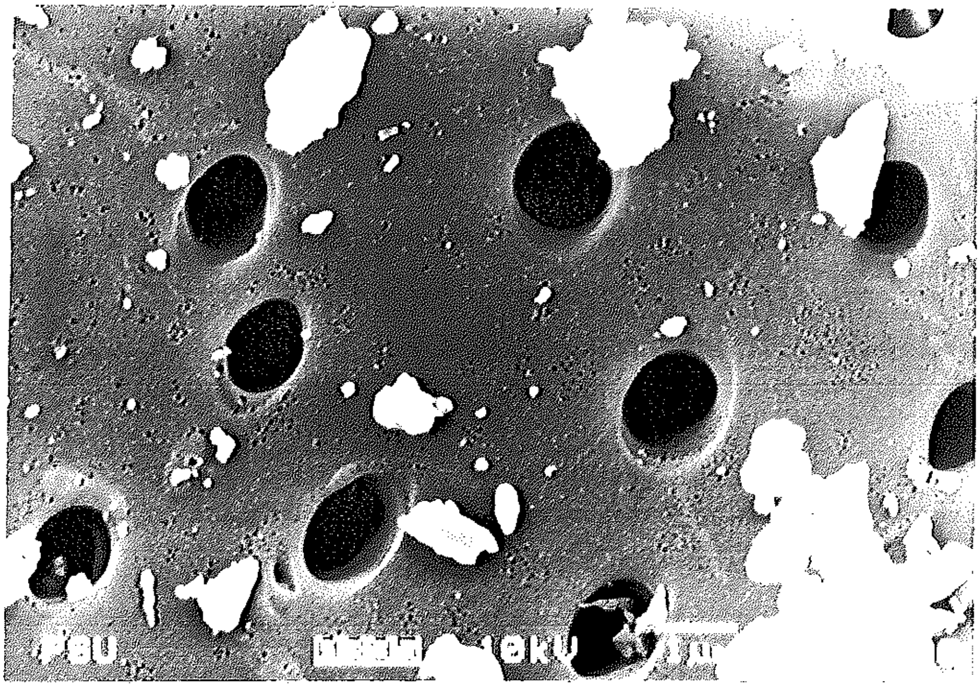
3. ถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานจะมีผงถ่านขนาดเล็กหรือเศษสิ่งเจือปนอื่นๆอุดรูพรุนของถ่านขัดขวางไม่ให้สีและซีโอดีแพร่ผ่านเข้าสู่โพรงภายในได้โดยสะดวก การใช้งานและการฟื้นสภาพหลายครั้งจะช่วยกำจัดสิ่งอุดตันดังกล่าวออกจากรูพรุนหรือโพรงของเม็ดถ่านได้



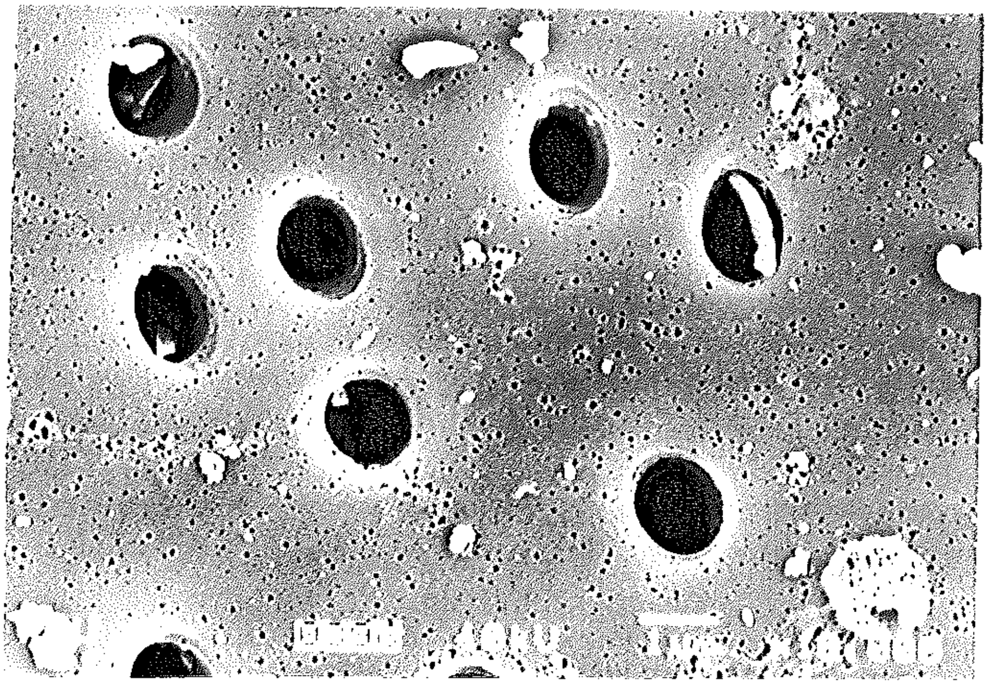
ภาพประกอบ 49 ซีโอดีในน้ำที่ออกจากระบบเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและผ่านการฟื้นสภาพ



ภาพประกอบ 50 ค่าสีในน้ำที่ออกจากระบบเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและผ่านการฟื้นสภาพ



ภาพประกอบ 51 ภาพขยายพื้นผิวภายนอกของเม็ดถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน



ภาพประกอบ 52 ภาพขยายพื้นผิวภายนอกของเม็ดถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานและ
ฟื้นสภาพโดยการเผาที่อุณหภูมิสูงมาแล้ว 10 ครั้ง

อย่างไรก็ตามการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์จะทำให้ความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์ลดลง (ตาราง 25)

ตาราง 25 ความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ภายหลังการฟื้นสภาพ

ครั้งที่ฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์	ความสูงของชั้นถ่าน (เซนติเมตร)
1	29.5
2	29
3	28.5
4	28.5
5	28.5
6	29
7	29
8	28
9	28.5
10	29
ค่าเฉลี่ย	28.75

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์จะทำให้ความลึกของชั้นถ่านลดลงประมาณร้อยละ 4 จากข้อมูลดังกล่าวหากใช้ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่มีความลึก 180 เซนติเมตร ดูดซับมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแล้วนำถ่านกัมมันต์ดังกล่าวไปฟื้นสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ จนกระทั่งเหลือความลึกของชั้นถ่านเท่ากับความลึกวิกฤติ 22 เซนติเมตร จะใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* ได้ประมาณ 52 ครั้ง และหากใช้ชั้นถ่านกัมมันต์ที่มีความสูงเริ่มต้นมากขึ้นจำนวนครั้งที่จะสามารถใช้ถ่านกัมมันต์ได้จะเพิ่มขึ้น ดังเช่นกรณีผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีค่าซีโอดี 290 มิลลิกรัม/ลิตร เข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่มีความสูงเริ่มต้นประมาณ 13 เมตร หากไม่คำนึงถึงสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่อาจเปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะขนาดใช้งานและตัวเลขการกัดกร่อนจะต้องทำการใช้งานชั้นถ่านกัมมันต์แล้วนำมาฟื้นสภาพหมุนเวียนเช่นนี้ถึง 100 ครั้ง ชั้นถ่านกัมมันต์ที่เหลือจึงจะมีความลึกเท่ากับความลึกวิกฤติ และจะต้องเสียค่าถ่านกัมมันต์

สำหรับดูดซับมลสารในน้ำทิ้งประมาณ 38.5 บาท/น้ำทิ้ง 1 ลบ.ม. (วิธีการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก จ)

๙. การออกแบบระบบดูดซับในชั้นตรึงสำหรับดูดซับสีและซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

จากการทดลองและการคำนวณค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับ จะสามารถออกแบบระบบดูดซับได้โดยมีเงื่อนไขดังนี้

1. โรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด ดำเนินการผลิตตลอด 24 ชั่วโมง ใช้ทะลายปาล์มสด 220 ตันต่อวัน มีน้ำทิ้ง 1.18 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด (อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ, 2537)

2. น้ำทิ้งจากโรงงานสยามปาล์มน้ำมันและสวนปาล์ม จำกัด ที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแล้วมีค่าซีโอดี 290 มิลลิกรัม/ลิตร

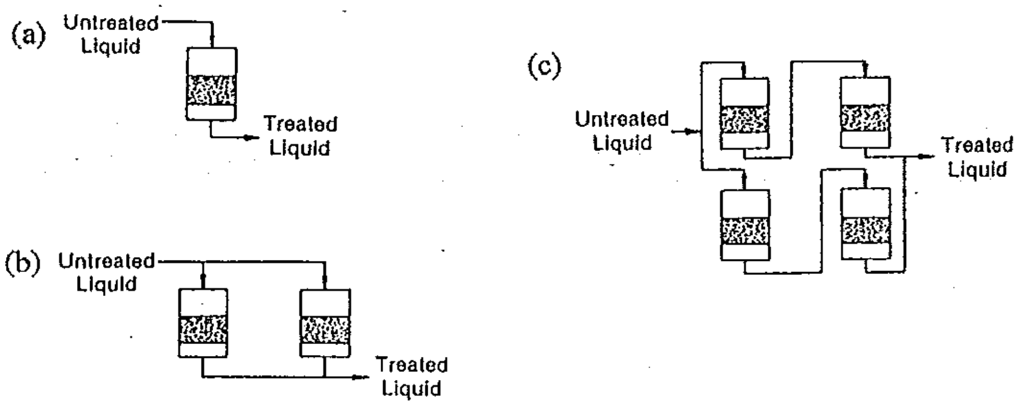
3. ค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบเป็นค่าที่ได้จากการทดลองผ่านน้ำทิ้งด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที เข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ผ่านการใช้งานและฟื้นสภาพแล้ว โดยมีค่า N_0 เท่ากับ 4,524.04 มิลลิกรัม/ลิตร ค่า K เท่ากับ 0.0058 มิลลิลิตร/มิลลิกรัม/นาที

4. การผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ใช้อัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

จากการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก จ ชั้นถ่านกัมมันต์ที่จะสามารถรองรับน้ำทิ้งได้ต้องมีพื้นที่หน้าตัด 9.01 ตารางเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.39 เมตร สำหรับระบบดูดซับในชั้นตรึงที่ปล่อยน้ำให้ไหลลงผ่านชั้นสารดูดซับน้ำจะกระจายแทรกไปในชั้นสารดูดซับได้ดีเมื่ออัตราส่วนระหว่างความสูงของชั้นสารดูดซับต่อเส้นผ่าศูนย์กลางพื้นที่หน้าตัดมีค่ามากกว่า 4 ต่อ 1 (Smith, 1981) ดังนั้นในที่นี้ความสูงของชั้นถ่านกัมมันต์ควรมีค่ามากกว่า 13.55 เมตร ซึ่งประมาณว่าชั้นถ่านกัมมันต์จะมีอายุการใช้งานมากกว่า 173 ชั่วโมง หรือ 7.2 วัน

อย่างไรก็ตามระบบดูดซับแบบชั้นตรึงเดี่ยว (single fixed bed) (ภาพประกอบ 53) อาจมีปัญหาในการจัดการเมื่อชั้นถ่านกัมมันต์มีความสูงมากๆ โดยเฉพาะเมื่อต้องเปลี่ยนถ่ายถ่านกัมมันต์เพื่อการฟื้นสภาพจะต้องมีชั้นถ่านสำรองอีกชั้นเพื่อให้

การทำงานมีความต่อเนื่อง จึงต้องใช้ถ่านกัมมันต์จำนวนมากหมุนเวียนในระบบการทำงาน ทางเลือกที่น่าจะเป็นไปได้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวคือปรับเปลี่ยนระบบดูดซับจากแบบชั้นตรึงเดี่ยวเป็นแบบชั้นตรึงขนาน (parallel fixed bed) (ภาพประกอบ 53)



ภาพประกอบ 53 (a) ระบบดูดซับแบบชั้นตรึงเดี่ยว
(b) ระบบดูดซับแบบชั้นตรึงขนาน
(c) ระบบดูดซับแบบชั้นตรึงขนาน-อนุกรม

ที่มา : Schuliger (1978)

ทั้งนี้เพื่อให้ระบบรองรับปริมาณน้ำทิ้งได้ พื้นที่หน้าตัดโดยรวมของชั้นตรึงแบบขนานจะต้องเท่ากับ 9.01 ตารางเมตร และจะสามารถแบ่งชั้นถ่านกัมมันต์ได้มากกว่า 2 ชั้น ขึ้นไป ซึ่งชั้นถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 2 ชั้นจนถึง 9 ชั้น ที่เรียงตัวกันในแนวขนานจะมีพื้นที่หน้าตัด เส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูง ตลอดจนระยะเวลาใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์ดังแสดงในตาราง 26

ตาราง 26 พื้นที่หน้าตัด เส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูง ตลอดจนระยะเวลาใช้งานของ ชั้นถ่านกัมมันต์ ตั้งแต่ 2 - 9 ชั้น ที่เรียงตัวกันในแนวขนาน

จำนวนชั้นถ่านกัมมนต์	พื้นที่หน้าตัด	เส้นผ่าศูนย์กลาง	ความลึก	ระยะเวลาใช้งาน
1	9.01 ตร.ม.	3.39 เมตร	> 13.56 เมตร	> 173 ชั่วโมง หรือ > 7.2 วัน
2	4.50 ตร.ม.	2.39 เมตร	> 9.56 เมตร	> 121 ชั่วโมง หรือ > 5.0 วัน
3	3.00 ตร.ม.	1.95 เมตร	> 7.80 เมตร	> 98 ชั่วโมง หรือ > 4.1 วัน
4	2.25 ตร.ม.	1.69 เมตร	> 6.76 เมตร	> 84 ชั่วโมง หรือ > 3.5 วัน
5	1.80 ตร.ม.	1.51 เมตร	> 6.04 เมตร	> 75 ชั่วโมง หรือ > 3.1 วัน
6	1.50 ตร.ม.	1.38 เมตร	> 5.52 เมตร	> 68 ชั่วโมง หรือ >2.9 วัน
7	1.29 ตร.ม.	1.28 เมตร	> 5.12 เมตร	> 63 ชั่วโมง หรือ > 2.6 วัน
8	1.13 ตร.ม.	1.20 เมตร	> 4.80 เมตร	> 59 ชั่วโมง หรือ > 2.5 วัน
9	1.00 ตร.ม.	1.13 เมตร	> 4.52 เมตร	> 55 ชั่วโมง หรือ > 2.3 วัน

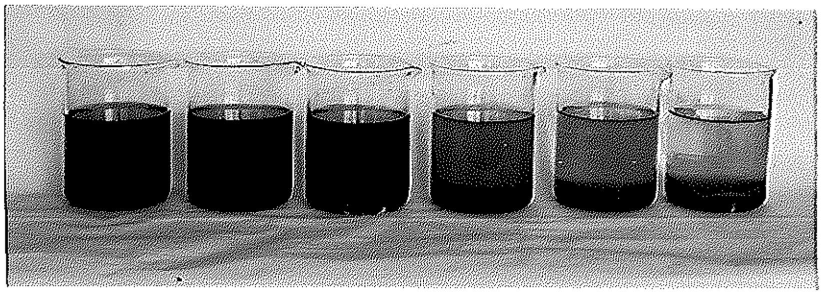
เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของระบบอาจเพิ่มชั้นถ่านกัมมันต์ต่อในลักษณะขนาน-อนุกรม (parallel-series fixed bed) (ภาพประกอบ 53) อย่างไรก็ตามจะต้องมีชั้นถ่านกัมมันต์ในลักษณะขนานสำรองไว้ 1 แถว สำหรับใช้งานเมื่อมีการเปลี่ยนถ่ายถ่านกัมมันต์

10. การใช้สารตกตะกอนเพื่อลดซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

วีรพันธุ์ เดิมหลิ่ม (2537) ได้ทำการทดลองใช้สารตกตะกอน คือ แคลเซียม-ไฮดรอกไซด์, อลูมิเนียมซัลเฟต, เฟอรัสซัลเฟต และ คลอริเนตเตดคอปเปอรัส เติมลงในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีค่าสีประมาณ 3,500 หน่วยสี และมีค่าซีโอดี 1,586.92 มิลลิกรัม/ลิตร โดยให้มีระดับความเข้มข้นของสารเคมี 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม/ลิตร พบว่าการใช้สารเคมีคือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์, อลูมิเนียมซัลเฟต, เฟอรัสซัลเฟต และ คลอริเนตเตดคอปเปอรัส ที่ความเข้มข้น 2 กรัม/ลิตร จะทำให้ค่าสีลดลงสูงสุด ซึ่งการลดลงจะมีค่าร้อยละ 76.30, 57.94, 52.28, 59.35 และ 9.93 ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามข้อมูลการศึกษาข้างต้นก็ไม่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านมาได้ เนื่องจากความเข้มข้นของซีโอดีและสีในตัวอย่างน้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองทั้งสองมีค่าต่างกันมาก ดังนั้นจึงได้เลือกทดลองใช้อลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้ม เพื่อลดซีโอดีและสีในน้ำตัวอย่างที่มีซีโอดีและค่าสีใกล้เคียงกับน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เหตุที่เลือกใช้สารส้มในการทดลองเนื่องจากเป็นสารตกตะกอนที่มีราคาถูกหาซื้อได้ง่าย ในขณะที่เฟอรัสซัลเฟตเป็นสารตกตะกอนที่ไม่เหมาะจะนำมาใช้กับน้ำที่มีสี โดยเฉพาะเมื่อใช้เฟอรัสซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้นสูงอาจทำให้เกิดสีและกลิ่นไม่พึงประสงค์เนื่องจากสนิมเหล็ก (ณรงค์ วุฑฒเสถียร, 2526) สำหรับแคลเซียมไฮดรอกไซด์แม้ว่าจะเป็นสารตกตะกอนที่ลดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้มาก (วีรพันธุ์ เดิมหลิ่ม, 2537) แต่การเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณมากลงในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะทำให้ค่าความเป็นด่างเพิ่มมากขึ้น จนอาจเป็นอุปสรรคสำคัญในการปรับลดพีเอชของน้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้ว

จากการทดลองใช้สารส้มที่ระดับความเข้มข้นความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัม/ลิตร ตกตะกอนสีและซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม พบว่าสารส้มเป็นสารตกตะกอนสามารถลดสีในตัวอย่างน้ำทิ้ง (ภาพประกอบ 54) อีกทั้งยังช่วยลดพีเอชของตัวอย่างน้ำทิ้งได้ จากการเติมสารส้มในตัวอย่างน้ำทิ้งที่ความเข้มข้น 2.5 กรัม/ลิตร พีเอชของน้ำทิ้งจะลดลงจาก 9.43 เป็น 6.45 สำหรับการวิเคราะห์ค่าสีและซีโอดีในส่วนใสภายหลังการตกตะกอนปรากฏผลดังแสดงในตาราง 27



ภาพประกอบ 54 การใช้สารส้มตกตะกอนมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ในอัตราส่วน 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัม/ลิตร (เรียงจากซ้ายไปขวา)

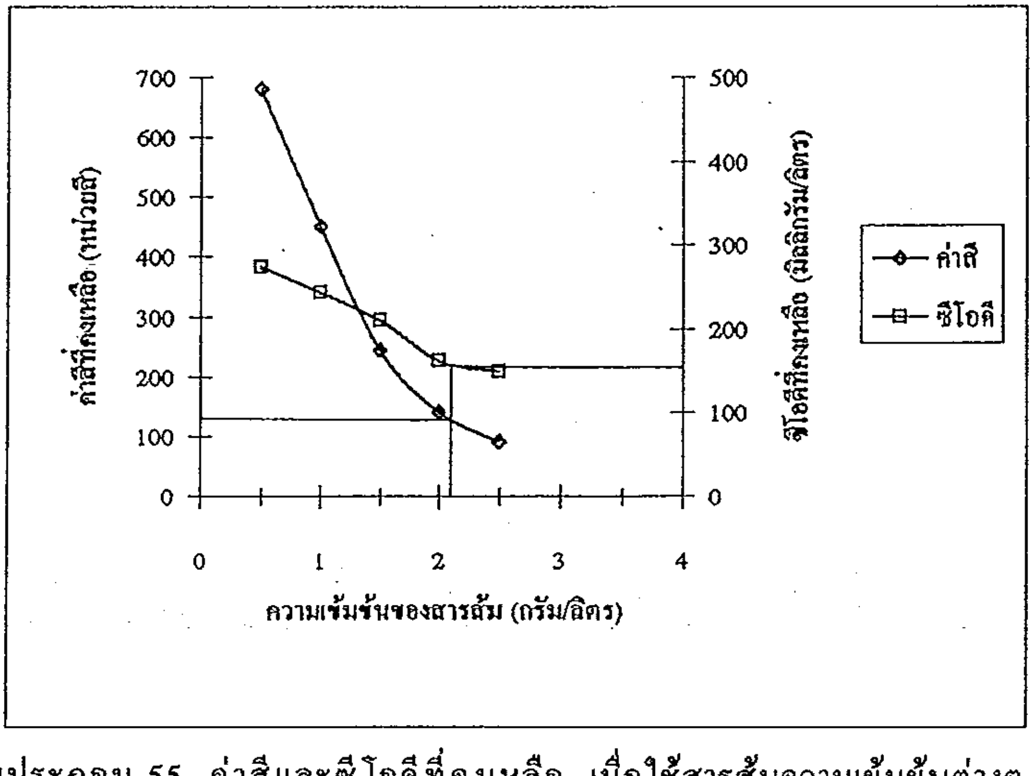
ตาราง 27 แสดงค่าสีและซีโอดีที่คงเหลือในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งเติมสารส้มที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของอลูมิเนียมซัลเฟต (กรัม/ลิตร)	ค่าสี (หน่วยสี)	ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	1013	306.16
0.5	680	273.55
1.0	450	242.75
1.5	243	210.14
2.0	140	161.23
2.5	90	148.56

ในการทดลองผ่านตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ถูกฟื้นคุณภาพ ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที และกำหนดเบรคพอยท์เมื่อซีโอดีในน้ำที่ออกจากระบบมีค่า 120 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าน้ำที่ออกจากระบบมีค่าสีโดยเฉลี่ย 127 หน่วยสี

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารส้มกับค่าสีที่คงเหลือ (ภาพประกอบ 55) หากต้องการให้น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีค่าสี 127 หน่วยสีเช่นเดียวกับการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับจะต้องเติมสารส้มให้มีความเข้มข้นประมาณ 2.06 กรัม/ลิตร สารส้มที่ใช้มีราคากิโลกรัมละ 14 บาท ดังนั้นในการตกตะกอนมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 1 ลบ.ม. จะต้องใช้สารส้ม 2.06 กิโลกรัม ราคา 29 บาท ซึ่งแม้จะมีราคาถูกกว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ฟื้นสภาพเพื่อนำมาใช้ซ้ำได้ 100 ครั้ง แต่การใช้สารส้ม ในอัตราส่วน 2.06 กรัม/ลิตร หรือ ใช้ในอัตรส่วนที่มากถึง 2.5 กรัม/ลิตร ก็ไม่สามารถลดซีโอดีในน้ำทิ้งให้ลดต่ำกว่า 120 มิลลิกรัม/ลิตร ได้เหมือนการใช้ถ่านกัมมันต์ สาเหตุอาจเนื่องมาจากมลสารในรูปซีโอดีส่วนหนึ่งเป็นของแข็งละลายน้ำจึงไม่สามารถตกตะกอนได้หรือตกตะกอนได้ยาก

นอกจากนี้ตกตะกอนมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้สารเคมีจะมีข้อเสียคือจะมีความยากลำบากในการควบคุมสภาวะการเกิดปฏิกิริยาการตกตะกอน (วีรพันธุ์ เติมหลิ่ม, 2537) และอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดกากตะกอนอีกด้วย



ภาพประกอบ 55 ค่าสีและซีโอดีที่คงเหลือ เมื่อใช้สารส้มความเข้มข้นต่างๆ ตกตะกอนมลสารในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการใช้กระบวนการดูดซับด้วยถ่านเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มพบว่า

1. การคัดเลือกถ่านกัมมันต์เพื่อนำมาใช้ในการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม นอกจากจะพิจารณาความสามารถในการดูดซับจากไอโซเทิร์มการดูดซับแล้วยังต้องพิจารณาถึงราคาจำหน่ายถ่านกัมมันต์แต่ละตัวอย่างด้วย ซึ่งพบว่าในจำนวนตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในเชิงพานิชย์ 6 ตัวอย่าง มีถ่านกัมมันต์ 2 ตัวอย่าง ที่เหมาะสมสำหรับใช้ดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ถ่านกัมมันต์ดังกล่าวคือถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่ทำจากไม้โกงกางผลิตโดยบริษัทคาร์โบกาญจน์ จำกัด

2. จากการหาความสามารถในการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ระดับพีเอช 6, 7, 8 และที่พีเอชของน้ำทิ้งคือ 9.5 ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดพีเอชระหว่างการดูดซับลง แต่เนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีความเป็นด่างสูง จึงเป็นการยากที่จะปรับลดและควบคุมระดับพีเอชอีกทั้งยังต้องใช้กรดในปริมาณมากดังนั้นจึงเลือกที่จะทำการทดลองในขั้นต่อไปโดยไม่ปรับลดพีเอชของตัวอย่างน้ำ

3. จากการทดลองผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าวและไม้โกงกาง ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2, 4, 8 และ 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที เพื่อหาค่าคงที่ที่จำเป็นสำหรับการออกแบบระบบดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม การที่ค่า N_0 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพการดูดซับ (carbon efficiency) มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราน้ำล้นผิว ในขณะที่ค่า K ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการดูดซับ (adsorption rate constant) และค่า D_0 ซึ่งแสดงถึงความลึกวิกฤติ (critical bed depth) มีค่าเพิ่มขึ้น ย่อมแสดงให้เห็นว่าระบบดูดซับด้วยถ่านจะสามารถดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้ไว้น้อยลงเมื่อเพิ่มอัตราน้ำล้นผิว

และในกรณีที่ผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวเท่ากัน ค่าคงที่ข้างต้นจะแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางสามารถดูดซับซีโอดีไว้ได้มากกว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

แต่การจะใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มนั้น หากกระทำโดยไม่ได้นำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วมาฟื้นสภาพเพื่อใช้งานใหม่ ต้นทุนการบำบัดเฉพาะค่าถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียวจะอยู่ในเกณฑ์สูงมากจนไม่สมควรที่จะพัฒนาระบบดังกล่าวขึ้นมาเพื่อใช้งานจริง กล่าวคือแม้จะผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่ำคือ 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที ก็จะต้องเสียค่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและไม้โกงกางสำหรับดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้ง 1 ลบ.ม. ถึง 4,170 บาท และ 1,200 บาท ตามลำดับ

4. จากการประเมินคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ที่ผ่านการดูดซับด้วยชั้นถ่านกัมมันต์ การใช้อัตราน้ำล้นผิวต่ำจะทำให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับมลสารต่างๆ โดยเฉพาะ ซีโอดี เจลดาห์ลไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียไนโตรเจน สี และสารริดิวซ์โพลินส์ฟีนอล ไว้ได้มากกว่าการใช้อัตราน้ำล้นผิวสูง อย่างไรก็ตามน้ำที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านข้างต้น ก็มีคุณภาพดีเพียงสามารถระบายออกสู่แหล่งรองรับน้ำสาธารณะได้เท่านั้น แต่ไม่สามารถนำไปหมุนเวียนใช้ในกิจกรรมใดๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตของโรงงานได้

5. ถ่านไม้ที่ใช้สำหรับหุงต้มและถ่านกะลาปาล์ม ซึ่งเป็นถ่านที่ยังไม่ผ่านกระบวนการกระตุ้น สามารถดูดซับซีโอดีและสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไว้ได้น้อยมากเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ และถือได้ว่าไม่มีความเหมาะสมหากจะนำถ่านที่ยังไม่ผ่านการ กระตุ้นมาใช้ดูดซับซีโอดีและสีในน้ำทิ้งข้างต้น

6. ถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถนำมาฟื้นสภาพได้โดยการเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรณีที่ใช้ถ่านดังกล่าวเป็นสารดูดซับและผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที ค่าคงที่คือ N_0, K, และ D_0 ที่ได้ล้วนแสดงให้เห็นว่าถ่านที่ถูกฟื้นสภาพสามารถดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไว้ได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดเดียวกันซึ่งยังไม่ผ่านการใช้งาน

7. ในการทดลองนำถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางที่ผ่านการใช้งานมาฟื้นสภาพแล้วนำมาหมุนเวียนใช้ใหม่ 1-10 ครั้ง ถ่านกัมมันต์มีแนวโน้มที่จะสามารถดูดซับซีโอดีและสีได้ดีขึ้น แต่ทั้งนี้การฟื้นสภาพแต่ละครั้งจะสูญเสียถ่านไปประมาณร้อยละ 4 และหากถ่านกัมมันต์สามารถทนต่อการฟื้นสภาพได้ถึง 100 ครั้ง จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเฉพาะส่วนของถ่านกัมมันต์ประมาณ 38.52 บาท สำหรับการดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้ง 1 ลบ.ม.

8. การใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอนในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อให้ได้น้ำที่มีความเข้มสีเท่ากับกรณีการใช้ถ่านกัมมันต์นั้น จะต้องใช้สารส้มถึง 2.06 กิโลกรัม ราคาประมาณ 29 บาท สำหรับน้ำทิ้ง 1 ลบ.ม. ซึ่งการใช้สารส้มแม้จะมีต้นทุนต่ำกว่าการใช้ถ่านกัมมันต์แต่สารส้มปริมาณดังกล่าวไม่สามารถลดซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้มากเท่าถ่านกัมมันต์ และหากมีการใช้สารส้มหรือสารตกตะกอนอื่นๆในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มอาจเกิดปัญหาการกำจัดกากตะกอนตามมา

ข้อเสนอแนะ

1. กะลาปาล์มเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มอย่างหนึ่ง มีปริมาณ 0.07 ตัน/ตันทะลายปาล์มสด (อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ, 2539) จึงควรทดลองนำกะลาปาล์มมาทำถ่านกัมมันต์ และนำถ่านกัมมันต์ดังกล่าวมาทดลองใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

2. ถ่านกัมมันต์แม้จะหมดอายุการใช้งานแต่ไม่ได้หมายถึงว่าถ่านกัมมันต์นั้นจะหมดความสามารถในการดูดซับ ในการใช้งานจริงเมื่อใช้ชั้นถ่านกัมมันต์ที่มีความลึกมากๆ และผ่านน้ำเข้าสู่ชั้นถ่านด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่ำ อาจมีความเป็นไปได้ที่ค่าคงที่จะต่างไปจากค่าคงที่คำนวณได้จากการทดลองซึ่งใช้ชั้นถ่านที่มีความลึกน้อยกว่า นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาการใช้งานอาจไม่ใช่ความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงโดยเฉพาะในกรณีที่กำหนดค่าเบรคพอยต์ค่อนข้างต่ำ

จากการทดลองใช้ชั้นถ่านกัมมันต์ที่มีความลึกของชั้นถ่านต่างจากค่าที่คำนวณได้จากการออกแบบมาก ดังนั้นหากต้องการพัฒนาระบบการดูดซับด้วยถ่านมาใช้การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มควรทำการทดลองระดับโครงการนำร่อง (pilot scale plant) ก่อน เพื่อประเมินการทำงานในลักษณะที่ใกล้เคียงกับระบบการทำงานจริง และเพื่อความสมบูรณ์ในการประเมินความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์

บรรณานุกรม

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2525. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. กรุงเทพ : ประยูรวงศ์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2537. "ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน" กรุงเทพฯ. (สำเนา)

ควบคุมมลพิษ, กรม และ วิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, สมาคม. 2536. ศัพท์บัญญัติและนิยามสิ่งแวดล้อมน้ำ. กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์.

ณรงค์ วุทธเสถียร. 2526. การปรับคุณภาพน้ำในอุตสาหกรรมและหม้อไอน้ำ. กรุงเทพฯ : ภาพการพิมพ์.

ดำรง ชุมมงคล และ อภิสิทธิ์ เจริญกุล. 2533. "การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ NaCl เป็นตัวกระตุ้น" วิศวกรรมสาร. 43 (พฤศจิกายน-ธันวาคม 2533), 96-99.

ปรีชา มุณีศรี. 2539. "การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้จุลินทรีย์". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

ผาสุข กุลละวณิชย์, สัญชัย กลิ่นพิกุล, สุมณฑา กุลละวณิชย์ และ สุรเชษฐ์ ธีระมณี. 2534. โครงการแปรรูปผลิตภัณฑ์และพัฒนาด้านการตลาดของโรงงานหีบน้ำมันปาล์มขนาดเล็กตามพระราชดำริ. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พรพจน์ ศิริวงศ์ และ ภัคพงศ์ จุฑาศิริวงศ์. 2534. "Activated Carbon 2" ปัญหาพิเศษ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์. 2533. "กระบวนการผลิตและการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งและคุณลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม". ว.สงขลานครินทร์. 12 (เมษายน-มิถุนายน 2533) 169-176.

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์. 2535. คู่มือบทปฏิบัติการสุขาภิบาลโรงงาน (525-456). สงขลา : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. 2526. วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. กรุงเทพ ฯ : ก. วิวรรธน์.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2532. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม : กรุงเทพฯ.

วีรพันธุ์ เดิมหลิ่ม. 2537. "การกำจัดสีจากน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันปาล์มโดยวิธีการทางกายภาพเคมีและจุลินทรีย์" ปัญหาพิเศษ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

วิไลพร วณิชย์วโรดม. 2536. "การบำบัดสีของน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอโดยกระบวนการดูดซับด้วยแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอน".วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (สำเนา)

ศูนย์สถิติการเกษตร. 2537. "ปาล์มน้ำมัน : เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่ให้ผลผลิต ผลผลิตและผลผลิตต่อไร่ ปี 2536-2539". กรุงเทพ. (สำเนา)

ศูนย์สถิติการเกษตร. 2539. "ปาล์มน้ำมัน : เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่ให้ผลผลิต ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2536-2539". กรุงเทพฯ. (สำเนา)

ศูนย์เศรษฐกิจอุตสาหกรรมภาคใต้. 2539. "โรงงานอุตสาหกรรมใน 14 จังหวัดภาคใต้". สงขลา. (สำเนา)

สงวนเกียรติ ล้วนรัตนากร. 2528. "การทำถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด" ปัญหาพิเศษ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. (สำเนา)

สุพัตรา เฉลียวพงศ์. 2540. "สภาวะ pH ที่เหมาะสมของบ่อไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำยางข้น". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

เสริมพล รัตนสุข. 2524. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

อรัญ หันพงศ์กิตติกูล. 2537. "คุณลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มก่อนและหลังการบำบัด". สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. (สำเนา)

อรัญ หันพงศ์กิตติกูล, พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, กัลยา ศรีสุวรรณ, เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล และ วีรศักดิ์ ทองลิมป์. 2537. "การศึกษาวิธีแยกน้ำมันในน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมัน", ในการลดการสูญเสียน้ำมันในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม 7 เมษายน 2537. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ .

อรัญ หันพงศ์กิตติกูล, พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, กัลยา ศรีสุวรรณ, เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล และ วีรศักดิ์ ทองลิมป์. 2537. รายงานโครงการวิจัยการศึกษาวิธีแยกน้ำมันออกจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โครงการย่อย : การศึกษาในห้องปฏิบัติการ. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ .

อรัญ หันพงศ์กิตติกูล, พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และ กัลยา ศรีสุวรรณ. 2539. แนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2539. "ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่จะระบายออกจากโรงงาน". กรุงเทพฯ. (สำเนา)

อุไรวรรณ ธรรมรัตน์นพคุณ. 2530. การศึกษาการทำถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ. กรุงเทพฯ : กองวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ.

APHA, AWWA and WEF. 1992. Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. 18th ed. N.Y. : American Public Health Association.

Benefield, D. L. and Clifford, W. R. 1980. Biological Process Design for Wastewater Treatment. N.J. : Prentice-Hall.

Berl. E. 1938. "Formation and Propreties of Activated Carbon", Trans. Faraday Soc. 34(1938), 1040-1056, อ้างถึงใน คำรง ชุมมงคล และ อภิสิทธิ์ เจริญกุล. 2533. "การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ NaCl เป็นตัวกระตุ้น" วิศวกรรมสาร. 43 (พฤศจิกายน-ธันวาคม 2533), 96-99.

Bernadin, Frederick E. Jr. 1981. "Application of GAC to Industrail Wastewater",In Application of Adsorption to Wastewater Treatment, p.129-149. Eckenfelder, Wealey W. Jr., eds. T.N. : Enviro Press, Inc.

Black, A. and Christman, R. 1963. "Chemical Charecteristic of Fulvic Acid", J. AWWA 55(1963), 897-912, quoted in Corroll, J. W. 1985. Water Treatment Principles and Design. N.Y. : John Wiley & Sons.

Brougton, C. W. 1981. "Principle of Liquild - Phase Adsorption", In Application of Adsorption to Wastewater Treatment, p.29-66. Eckenfelder, Wealey W. Jr., eds. T.N. : Enviro Press, Inc.

Carbokam Co., Ltd. n.d. "Carbokam Activated Carbon". Bankok : Carbokam Co., Ltd.

Cheah, S.C., Ma, A.N., Ooi, L.C.L. and Ong, A.S.H. 1988. Biotechnology Application for The Utilization of Waste from Palm Oil Mills. Fat. sci. Technol. 21, 535-540, อ้างถึงใน ปรีชา มุณีศรี. 2539. "การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้จุลินทรีย์". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

Chermisinoff, P.N. and Morresi. A.C. 1974. "Carbon adsorption Application", In Carbon Adsorption Applications, p 1-53. Cheremisinoff P. N., eds. Mich. : Ann Arbor Science, Publisher Inc.

Chooi, C. F. 1985. Pond System for Palm Oil Effluent Treatment. Proceeding of Workshop on Review of Palm Oil Mill Effluent Boustead Technology Estates Agency San. Bhd., อ้างถึงใน ปรีชา มุณีศรี. 2539. "การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้จุลินทรีย์". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

Corroll, J. W. 1985. Water Treatment Principles and Design. N.Y. : John Wiley & Sons.

Coughlin, R.W. and Ezza, F. 1968. "Role of Surface Acidity in The Adsorption of Organic Pollutants on The Surface of Carbon". Envir. Sci. Tech. 2(1968), 291. quoted in : Snoeyink V. L. 1990. "Adsorption of Organic Compound", In Water Quality and Treatment, p. 781-875. Vernon, L. S. eds. Conn : AVI Publish Company, Inc.

Ford, D. L. 1978. "Treaetment of Petroleum Refinery Wastewater", In Carbon Adsorption Applications, p 687-731. Cheremisinoff P. N., eds. Mich. : Ann Arbor Science, Publisher Inc.

Ford, D. L. 1981. "Wastewater Characteristic and Treatment", In Activated Carbon Adsorption for Wastewater Treatment, p 1-27. Perrich J. R., eds. Fla. : CRC Press, Inc.

Ghassemi, M. and Christman, M. 1968. "Properties of Yellow Organic Acids of Natural Water", Limnol. Oceanog. 13(1968) 586-597, quoted in Corroll, J. W. 1985. Water Treatment Principles and Design. N.Y. : John Wiley & Sons.

Gjessing, E. and Lee G. F. 1967. "Fraction of Organic Matter in Natural Waters on Sephadex Columns" Environ. Sci. Technol. 1(1967), 631-638, quoted in Corroll, J. W. 1985. Water Treatment Principles and Design. N.Y. : John Wiley & Sons.

Gjessing, E. 1976. Physical and Chemical Characteristics of Aquatic Humus. M.I. : Ann Arbor Science, quoted in Corroll, J. W. 1985. Water Treatment Principles and Design. N.Y. : John Wiley & Sons.

Gregg, S.J., and Sing, K.S.W. 1969. Adsorption Surface Area and Perosity. N.Y. : Acadimic Press Inc.

Hassler, J. W. 1963. Activated Carbon. N.Y. : Chemical Publishing Company, Inc.

Hwang, T.K., Ong, S.M., Scow, C.C., and Tan, H.K. 1978. Chemical composition of palm oil mill effluent. Planter. 54(1978) : 749-756, อ้างถึงใน ปรีชา มุณีศรี. 2539. "การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้จุลินทรีย์". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

Hutchins, R. A. 1973. "New Method Simplifies Design of Activated - Carbon Systems" , Chemical Engineering. 20(August 1973), 133-138.

Hutchins, R. A. 1981. "Development of Desing Parameters", In Activated Carbon Adsorption for Wastewater Treatment, p 61-94. Perrich J. R., eds. Fla. : CRC Press, Inc.

Kipling, J.J., and Shooter, P.V. 1966. J. Colloid Interface Sci. 21(1966), 238. quoted in : Snoeyink V. L. 1990. "Adsorption of Organic Compound", In Water Quality and Treatment, p. 781-875. Vernon, L. S. eds. Conn : AVI Publish Company, Inc.

Maheswaran, A. 1985. "The Food Processing Industry and The Environment with Emphasis on Palm Oil Production", UNEP Industry and Environment. (Otc.-Dec. 1985), 2. quoted in Nelson, L.N., Avijit, D. 1991. Industrial and Hazardous Waste Treatment. N.Y. : VanNostrand Reinhold.

McGinnis, F.K. 1981. . "Regeneration Systems", In Activated Carbon Adsorption for Wastewater Treatment, p 155-175. Perrich J. R., eds. Fla. : CRC Press, Inc.

Oden, S. 1919. "Humic Acid", Kolloidchem. Beineftc. 11(1919), 75, quoted in Corroll, J. W. 1985. Water Treatment Principles and Design. N.Y. : John Wiley & Sons.

Perdue, E. M. 1978. "Solution Thermochemistry of Humic Substances. I. acid-base equilibria of humic acid", In Proceedings AWWA Annual conference. part 2, 1249-1260, quoted in Corroll, J. W. 1985. Water Treatment Principles and Design. N.Y. : John Wiley & Sons.

Randtke S.J. 1983. "Evaluation GAC Adsorption Capacity", J. AWWA 75(1983), 406-413, quoted in Snoeyink V. L. 1990. "Adsorption of Organic Compound", In Water Quality and Treatment, p. 781-875. Vernon, L. S. eds. Conn : AVI Publish Company, Inc.

Rebis, E. 1981. "A Guideline to Operational Procedures and Design for Granular Carbon Systems Wastewater Applications", In Activated Carbon Adsorption for Wastewater Treatment, p 217-241. Perrich J. R., eds. Fla. : CRC Press, Inc.

Schuliger, W. G. 1978. "Purification of Industrail Liquids with Granular Activated Carbon : Techniques for Obtaining and Interpreting Data and Selecting the Type ofCommercial System", In Carbon Adsorption Applications, p 55-83. Cheremisinoff P. N., eds. Mich. : Ann Arbor Science, Publisher Inc.

Smith, R.M. 1981. "Component Equipment Design", In Activated Carbon Adsorption for Wastewater Treatment, p 205-215. Perrich J. R., eds. Fla. : CRC Press, Inc.

Snoeyink, V. L. 1990. "Adsorption of Organic Compound", In Water Quality and Treatment, p. 781-875. Vernon, L. S. eds. Conn : AVI Publish Company, Inc.

Storm, D.W. 1981. "Contacting Systems", In Activated Carbon Adsorption for Wastewater Treatment, p 127-135. Perrich J. R., eds. Fla. : CRC Press, Inc.

Theobanoglous. 1979. Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, Reuse. New Delhi : Tata Mc Graw-Hill Publishing Company, Ltd. .

Treybal, R.E. 1980. Mass Transfer Operations. Kogakusha : McGraw-Hill , Ltd.

vonDreuche, Jr., C.F. 1981. "Regeneration Systems", In Activated Carbon Adsorption for Wastewater Treatment, p 137-153. Perrich J. R., eds. Fla. : CRC Press, Inc.

Wagner N. J. and Jula R. J. 1981. "Activated Carbon Adsorption", In Activated Carbon Adsorption for Wastewater Treatment, p 41-59. Perrich J. R., eds. Fla. : CRC Press, Inc.

Weber, Jr.,W.W., 1981. "Concept and Principles of Carbon Application in Wastewater Treatment", In Application of Adsorption to Wastewater Treatment, p.5-28. Eckenfelder, W. W. Jr., eds. T.N. : Enviro Press, Inc.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์น้ำ

ความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) (APHA, AWWA and WEF, 1992)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดพีเอช
2. เครื่องกวน (magnetic stirrer)

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล

ละลายกรดซัลฟุริกเข้มข้น 2.8 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร หาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่เตรียมได้โดยปิเปตสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 นอร์มัล จำนวน 40.00 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร ทิเทรตด้วยสารละลายกรดซัลฟุริกที่เตรียมไว้ ขณะทิเทรตทำการกวนด้วยเครื่องกวน และวัดพีเอชไปพร้อมกัน ทิเทรตจนถึงพีเอช 5 จึงล้างอิเลคโทรดให้น้ำล้างลงสู่บีกเกอร์ แล้วนำสารละลายไปต้มให้เดือดภายใต้กระจกนาฬิกานาน 3-5 นาที ทิ้งให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง ล้างกระจกนาฬิกาให้น้ำล้างลงสู่บีกเกอร์ ทำการทิเทรตต่อจนถึงพีเอช 4.5 (inflection point)

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟุริก} = \frac{A \times B}{53.00 \times C}$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักที่แน่นอนของ Na_2CO_3 ที่ใช้เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 นอร์มัล

B คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 นอร์มัล ที่ถูกทิเทรต

C คือ ปริมาตรกรดที่ใช้ทิเทรต

2. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 นอร์มัล

ละลาย Na_2CO_3 (อบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง) 2.5 ± 0.2 กรัม ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายที่เตรียมได้มีอายุใช้งาน 1 สัปดาห์

<u>วิธีการ</u>

1. ทิเทรตตัวอย่างน้ำด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ขณะทิเทรตทำการกวนด้วยเครื่องกวน และวัดพีเอชไปพร้อมกัน บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้เมื่อพีเอชเปลี่ยนไป 0.2 จนกระทั่งถึงพีเอช 4.5 หรือต่ำกว่า

2. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงกับปริมาณกรดที่ใช้ จากกราฟที่ได้หาปริมาณกรดที่ใช้ทิเทรตตัวอย่างจนถึงพีเอช 4.5

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{ความเป็นด่างทั้งหมด (mg } CaCO_3/l) = \frac{A \times N \times 50000}{\text{มิลลิลิตรตัวอย่าง}}$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรสารละลายกรดซัลฟุริกมาตรฐานที่ใช้ทิเทรต

N คือ ความเข้มข้นของละลายกรดซัลฟุริกมาตรฐานที่ใช้ทิเทรต

ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspened Solids) (APHA, AWWA and WEF, 1992)

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. กระดาษกรองใยแก้ว (glass-fiber filter disks) (Whatman GF/C, 4.3 cm)
2. ชุดอุปกรณ์สำหรับกรอง (filtration apparatus)
3. เครื่องดูดสุญญากาศ
4. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 - 105 องศาเซลเซียส
5. โถดูดความชื้น (desiccator)
6. เครื่องชั่งชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง

<u>วิธีการ</u>

1. วางกระดาษกรองใยแก้วด้านขรุขระลงบนชุดอุปกรณ์สำหรับกรอง ผ่านน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ลงไปใช้เครื่องดูดสุญญากาศดูดให้แห้ง วางกระดาษกรองใยแก้วที่ผ่านน้ำกลั่นแล้วลงบนแผ่นอลูมิเนียม แล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้นจึงนำมา

ชั่งน้ำหนัก ทำการอบซ้ำและทำให้เย็นในโถดูดความชื้นจนกระทั่งน้ำหนักที่ชั่งได้มีความแตกต่างกันไม่มากกว่า 0.5 มิลลิกรัม

2. ตวงน้ำตัวอย่างที่ผสมเข้ากันอย่างดี โดยเลือกปริมาณน้ำตัวอย่างเพื่อให้มีปริมาณสารคงค้างบนกระดาษกรองใยแก้ว 2.5-200 มิลลิกรัม

3. วางกระดาษกรองที่อบและชั่งจนทราบน้ำหนักแน่นอนบนชุดอุปกรณ์สำหรับกรอง เปิดเครื่องดูดสุญญากาศแล้วผ่านน้ำกลั่นลงไปเล็กน้อยจากนั้นจึงผ่านน้ำตัวอย่างที่ตวงไว้ลงไป ล้างอุปกรณ์ตวงน้ำตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 10 มิลลิลิตร 3 ครั้ง โดยผ่านน้ำดังกล่าวลงสู่กระดาษกรองใยแก้วด้วยเช่นกัน เปิดเครื่องดูดสุญญากาศต่อไปประมาณ 3 นาที นำกระดาษกรองใยแก้ววางบนแผ่นอลูมิเนียม แล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้นจึงนำมาชั่งน้ำหนัก กระทำการอบซ้ำและทำให้เย็นในโถดูดความชื้นจนกระทั่งน้ำหนักที่ชั่งได้มีความแตกต่างกันไม่มากกว่า 0.5 มิลลิกรัม

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{มิลลิลิตรของตัวอย่าง}}$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของกระดาษกรองใยแก้ว + น้ำหนักของสารที่คงค้างบนกระดาษกรองใยแก้ว

B คือ น้ำหนักของกระดาษกรองใยแก้ว

ของแข็งทั้งหมด (Total Slids) (APHA, AWWA and WEF, 1992)

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. ถ้วยกระเบื้องสำหรับระเหย
2. อ่างไอน้ำ (steam bath)
3. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 - 105 องศาเซลเซียส
4. โถดูดความชื้น (desiccator)
5. เครื่องชั่งชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง

<u>วิธีการ</u>

1. อบถ้วยกระเบื้องสำหรับระเหยในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เก็บไว้ในโถดูดความชื้นจึงนำมาชั่งน้ำหนักเมื่อต้องการใช้

2. ตวงน้ำตัวอย่างที่ผสมเข้ากันอย่างดี โดยเลือกปริมาณน้ำตัวอย่างเพื่อให้มีปริมาณสารคงค้างบนถ้วยกระเบื้องสำหรับระเหย 2.5-200 มิลลิกรัม

3. รินน้ำตัวอย่างที่ตวงไว้สู่ถ้วยสำหรับระเหย ทำกระระเหยน้ำตัวอย่างบนอ่างไอน้ำจนแห้ง แล้วอบถ้วยสำหรับระเหยซึ่งมีสารคงค้างจากการระเหยที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้นจึงนำมาชั่งน้ำหนัก กระทำการอบซ้ำและทำให้เย็นในโถดูดความชื้นจนกระทั่งน้ำหนักที่ชั่งได้มีความแตกต่างกันไม่มากกว่า 0.5 มิลลิกรัม

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{มิลลิลิตรของตัวอย่าง}}$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของถ้วยสำหรับระเหย + น้ำหนักของสารที่คงค้างบนถ้วยสำหรับระเหย

B คือ น้ำหนักของถ้วยสำหรับระเหย

ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Dissolved Solids) (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2525)

<u>การคำนวณ</u>

ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (มิลลิกรัม/ลิตร) = ของแข็งทั้งหมด - ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

ความต้องการออกซิเจนเชิงชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand) (ประยุกต์จาก พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, 2535 และ APHA, AWWA and WEF, 1992)

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. ขวดแก้วสำหรับหาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ
2. ตู้บ่ม (air incubator) ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียส และสามารถป้องกันแสงได้

<u>สารเคมี</u>

1. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์

   ละลาย KH_2PO_4 จำนวน 8.5 กรัม, K_2HPO_4 จำนวน 21.75 กรัม, $Na_2PO_4 \cdot 7H_2O$ จำนวน 33.4 กรัม และ NH_4Cl จำนวน 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วจึงปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

   ละลาย $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ จำนวน 22.5 กรัม ด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
3. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

   ละลาย $CaCl_2$ จำนวน 27.5 กรัม ด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
4. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์

   ละลาย $FeCl_3 6H_2O$ จำนวน 0.25 กรัม ด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
5. สารเคมีสำหรับหาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

<u>วิธีการ</u>

1. เตรียมน้ำสำหรับเจือจางน้ำตัวอย่างโดยตวงน้ำกลั่นที่จะใช้เจือจาง แล้วเติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และ สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ แต่ละชนิด 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร เป่าอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจน
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างให้เป็น 7 ด้วย สารละลายกรดซัลฟุริก 1 นอร์มอล หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล

3. เจือจางน้ำตัวอย่างโดยใช้ตัวอย่าง
   - 0.0-1.0% สำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นของมลพิษประเภทสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายในเกณฑ์สูง
   - 1-5% สำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีสารตกตะกอนได้อยู่ค่อนข้างมาก
   - 5-25% สำหรับตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพมาแล้ว
   - 25-100% สำหรับตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งอาจมีการปนเปื้อนของมลพิษ

ทำการเจือจางน้ำตัวอย่างในกระบอกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร การเจือจางในเบื้องต้นควรทำหลายระดับ เพื่อจะได้ระดับการเจือจางที่ให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำซึ่งเหลืออยู่ในวันที่ 5 ของการบ่ม (incubate) ที่ 20 องศาเซลเซียส มากกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร และให้ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่หมดเปลืองไปมากกว่า 2 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งจะทำให้ค่าความต้องการออกซิเจนเชิงชีวเคมีที่คำนวณได้ถูกต้องที่สุด

4. รินน้ำตัวอย่างที่เจือจางแล้วใส่ขวดแก้วสำหรับหาออกซิเจนละลายน้ำ 3 ขวด นำไปเก็บในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส 2 ขวด ส่วนที่เหลือหาความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำภายใน 15 นาทีภายหลังการเจือจาง เพื่อเป็นความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำในวันเริ่มต้น (D_1)

5. บ่มตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน จึงนำมาหาความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (D_2)

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{ความต้องการออกซิเจนเชิงชีวเคมี (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

เมื่อ D_1 คือ ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำในวันเริ่มต้น

D_2 คือ ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำในวันที่ 5 ของการบ่มตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส

$$P = \frac{\text{\% การเจือจาง}}{100}$$

ความต้องการออกซิเจนเชิงเคมี (Chemical Oxygen Demand) (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2525)

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. อุปกรณ์รีฟลักซ์ ประกอบด้วยขวดขนาด 250 มิลลิลิตร คอขวดเป็น ground glass 24/40 และอุปกรณ์ควบแน่น (condenser) 300 มิลลิเมตร Jacket Liebig มีข้อต่อทำด้วย ground glass 24/40
2. เตาสำหรับริฟลักซ์

<u>สารเคมี</u>

1. สารละลายมาตรฐานโพแตชเซียมไดโครเมต 0.250 นอร์มอล

   ละลาย $K_2Cr_2O_7$ (อบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) ด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2. ซัลฟูริกแอซิดริเอเจนท์

   เติม Ag_2SO_4 จำนวน 22 กรัมลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 9 ปอนด์ แล้วตั้งทิ้งไว้เพื่อให้ละลาย

3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มอล

   ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ จำนวน 19.5 กรัม ด้วยน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นจึงปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

   การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ทำได้โดย ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแตชเซียมไดโครเมต 0.250 นอร์มอลมา 5.00 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร ทิเทรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่เตรียมไว้ โดยใช้เฟอร์โรอิน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (นอร์มอล)} = \frac{\text{ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโพแตชเซียมไดโครเมต 0.250 นอร์มอล} \times 0.25}{\text{ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ทิเทรต}}$$

4. เมอร์คิวรีซัลเฟตชนิดผง

วิธีการ

1. ชั่งเมอร์คิวรีซัลเฟต 0.2 กรัม ใส่ขวดริฟลักซ์ พร้อมลูกแก้ว 3-5 ลูก เติมน้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร เติมซัลฟุริกแอซิดริเอเจนท์ 5 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลายมาตรฐานโพแตซเซียมไดโครเมต 0.250 นอร์มอล 5.00 มิลลิลิตร แล้วเติมซัลฟุริกแอซิดริเอเจนท์อีก 10 มิลลิลิตร ขณะเดียวกันให้ทำสารละลายเปล่า (blank) โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง

2. ริฟลักซ์ตัวอย่างซึ่งเติมสารเคมีแล้วพร้อมสารละลายเปล่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น ล้างอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้น้ำล้างไหลลงสู่ขวดริฟลักซ์ ถอดขวดริฟลักซ์ออก ตั้งให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วทิเทรต $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้เฟอร์โรอิน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์เมื่อถึงจุดยุติสีจะเปลี่ยนจากน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแกมแดง

การคำนวณ

$$\text{ความต้องการออกซิเจนเชิงเคมี (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{\text{มิลลิลิตรของน้ำตัวอย่าง}}$$

เมื่อ a คือ มิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ทิเทรตสารละลายเปล่า

b คือ มิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ทิเทรตตัวอย่าง

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

เจลดาห์ลไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen) (ประยุกต์จาก APHA, AWWA and WEF, 1992)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดอุปกรณ์ย่อย (digestion appapatus) ประกอบด้วยขวดสำหรับย่อย (Kjeldahl flask)ขนาด 800 มิลลิลิตร และเตาให้ความร้อน

2. ชุดอุปกรณ์กลั่นแอมโมเนียประกอบด้วยขวดกลั่นทำด้วยแก้วโบโรซิลิเกต (borosilicate glass flask) ขนาด 800 มิลลิลิตร อุปกรณ์ควบแน่น (condenser) ในแนวตั้ง และมีปลายจุ่มในสารละลายที่จะใช้เก็บแอมโมเนีย

<u>สารเคมี</u>

1. น้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย สำหรับเตรียมสารละลายที่จะใช้ในการทดลอง กลั้วเครื่องแก้ว และ เจือจางตัวอย่าง

2. สารละลายเมอร์คิวริกซัลเฟต

ละลาย HgO (red) จำนวน 8 กรัม ด้วยสารละลายกรดซัลฟุริกความเข้มข้น 6 นอร์มอล 100 มิลลิลิตร

3. น้ำยาสำหรับย่อย (digestion reagent)

ละลาย K_2SO_4 จำนวน 134 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย 650 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟุริกเข้มข้น 200 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลายเมอร์คิวริกซัลเฟต 25 มิลลิลิตร

4. น้ำยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ - โซเดียมไธโอซัลเฟต

ละลาย NaOH จำนวน 500 กรัม และ $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ จำนวน 25 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนียประมาณ 800 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

5. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม

ละลายเมธิลเรดจำนวน 200 มิลลิกรัม ด้วย 95% เอธิลแอลกอฮอร์ 100 มิลลิลิตร ละลายเมธิลีนบลู 100 มิลลิกรัม ด้วย 95% เอธิลอัลกอฮอร์ 50 มิลลิลิตร แล้วผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน

6. สารละลายอินดิเคเตอร์บอริกแอซิด

ละลาย H_3BO_3 จำนวน 20 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย เติมอินดิเคเตอร์ผสม 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

7. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริกความเข้มข้น 0.02 นอร์มอล

ละลายกรดซัลฟุริกเข้มข้นจำนวน 28 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร จะได้ละลายกรดซัลฟุริกเข้มข้น 1 นอร์มอล ปิเปตกรดซัลฟุริกเข้มข้น 1 นอร์มอล มา 20 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนียให้ได้ 1 ลิตร หาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริกความเข้มข้น 0.02 นอร์มอล ที่เตรียมได้โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล

วิธีการ

1. เติมน้ำตัวอย่างใส่ขวดสำหรับย่อยพร้อมลูกแก้ว โดยใช้ตัวอย่าง 150 มิลลิลิตร เจือจางตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนียจนได้ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เติมน้ำยาสำหรับย่อย 50 มิลลิลิตร และทำการย่อยในตู้ดูดควันจนได้สารละลายใสหรือสารละลายสีฟางอ่อนจึงยุติการย่อยแล้วทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นจึงเติมน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนียจนได้ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ค่อยๆเติมน้ำยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ - โซเดียมไธโอซัลเฟต 50 มิลลิลิตร นำไปใส่ในเครื่องกลั่นหาแอมโมเนียเขย่าให้สารในขวดเข้ากัน

2. ดำเนินการกลั่นด้วยอัตรา 6-10 มิลลิลิตตร/นาที ให้ปลายชุดเครื่องมือกลั่นจุ่มในสารละลายอินดิเคเตอร์บอริกแอซิด 50 มิลลิลิตร ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของของเหลวที่กลั่นได้ 200 มิลลิลิตร

3. ทิเทรตของเหลวที่กลั่นได้ด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่เตรียมได้และทราบความเข้มข้นแน่นอน จนได้สีม่วงอ่อน (pale lavender) โดย 1 มิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.02 นอร์มอล จะสมมูลกับไนโตรเจน 280 ไมโครกรัม

การคำนวณ

$$\text{ไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{(A - B) \times 14000 \times N}{\text{มิลลิลิตรของตัวอย่าง}}$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ทิเทรตตัวอย่าง

B คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ทิเทรตสารละลายเปล่า

N คือ นอร์มอลของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่เตรียมได้

C คือ ปริมาตรของตัวอย่างที่กลั่นได้ทั้งหมด

แอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen) (APHA, AWWA and WEF, 1992)

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. ชุดอุปกรณ์กลั่นแอมโมเนีย (distillation apparatus) ประกอบด้วยขวดกลั่นทำด้วยแก้วโบโรซิลิเคท (borosilicate glass flask) ขนาด 800 มิลลิลิตร อุปกรณ์ควบแน่น (condenser) ในแนวตั้ง และมีปลายจุ่มในสารละลายที่จะใช้เก็บแอมโมเนีย
2. เครื่องวัดพีเอช

<u>สารเคมี</u>

1. น้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย สำหรับเตรียมสารละลายที่จะใช้ในการทดลอง กลั้วเครื่องแก้ว และ เจือจางตัวอย่าง
2. สารละลายโบเรทบัฟเฟอร์

   ละลาย $Na_2B_4O_7{\cdot}6H_2O$ จำนวน 4.75 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร นำสารละลายที่เตรียมได้มา 500 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มอล 88 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 นอร์มอล

   ละลาย NaOH จำนวน 240 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
4. สารทำลายคลอรีน

   ละลาย $Na_2S_2O_3{\cdot}5H_2O$ จำนวน 3.5 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายชนิดนี้ควรเตรียมใหม่ทุกสัปดาห์
5. สารละลายกรดบอริก

   ละลาย H_3BO_3 จำนวน 20 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
6. น้ำยาเนสส์เลอร์ (Nessler reagent)

   ละลาย NaOH จำนวน 160 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย 500 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้จนเย็น ละลาย Hg_3I_2 จำนวน 100 กรัม และ KI จำนวน 70 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนียเล็กน้อยค่อยๆเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ที่เตรียมไว้จนหมดแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร บรรจุสารละลายที่ได้ในขวดแก้วโบโรซิลิเกท ปิดขวดด้วยจุกยางแล้วนำไปเก็บในตู้ปลอดแสง

7. สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย

ละลาย NH_4Cl (อบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง) 3.819 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนียแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ 1 มิลลิลิตร มี 1 มิลลิกรัมไนโตรเจน และมี 1.22 มิลลิกรัมแอมโมเนีย

<u>วิธีการ</u>

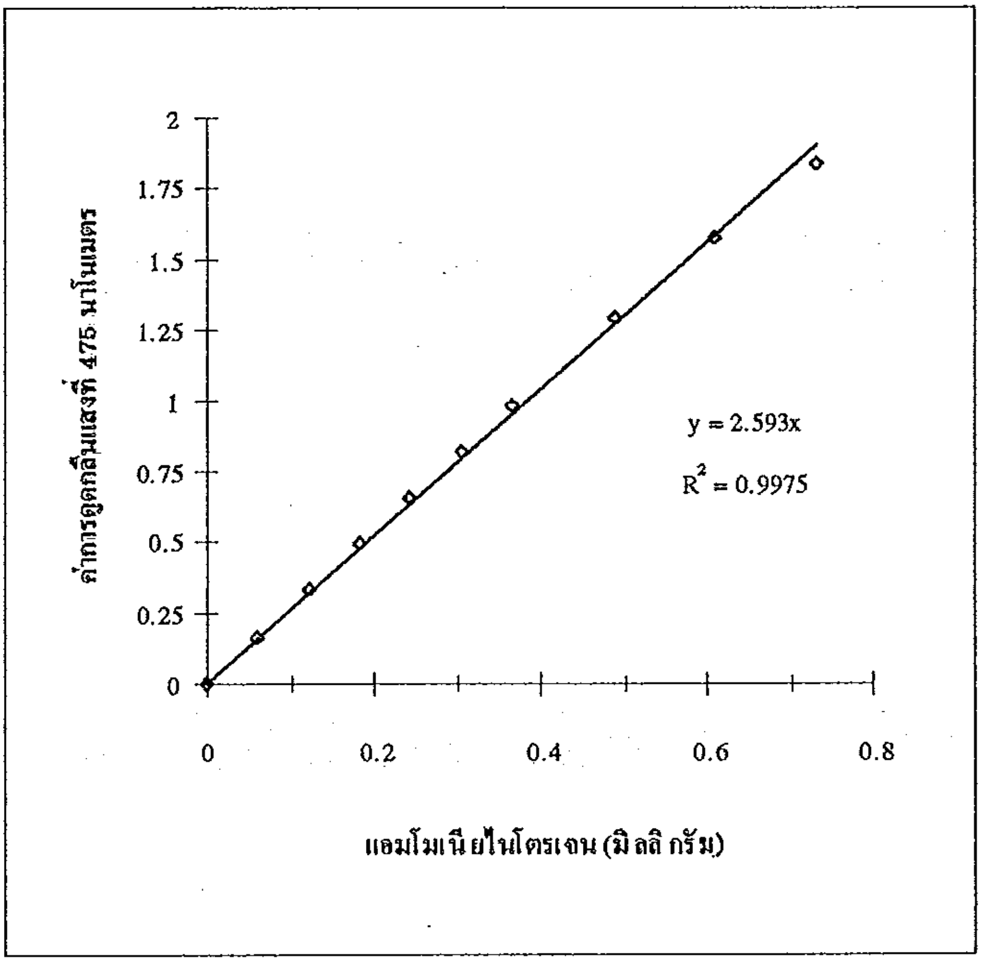
1. เตรียมชุดเครื่องมือกลั่นแอมโมเนีย โดยเติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร และฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 20 มิลลิลิตร พร้อมลูกแก้วลงในขวดสำหรับกลั่น กลั่นล้างเครื่องมือจนกระทั่งปราศจากแอมโมเนียในส่วนที่กลั่นออกมา

2. กลั่นหาแอมโมเนียในตัวอย่าง โดยเติมตัวอย่างหรือตัวอย่างที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย 500 มิลลิลิตร และฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 25 มิลลิลิตร พร้อมลูกแก้วลงในขวดสำหรับกลั่น ปรับพีเอชให้ได้ 9.5 กลั่นตัวอย่างด้วยอัตรา 6-10 มิลลิลิตตร/นาที ให้ปลายชุดเครื่องมือกลั่นจุ่มในสารละลายกรดบอริก 50 มิลลิลิตร ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของของเหลวที่กลั่นได้ 200 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

3. นำตัวอย่างที่กลั่นได้และปรับปริมาตรแล้วมา 50 มิลลิลิตร เติมน้ำยาเนสส์เลอร์ 2 มิลลิลิตร ผสมตัวอย่างกับน้ำยาเนสส์เลอร์ให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้ปฏิกิริยาดำเนิน 10 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 475 นาโนเมตร เทียบค่าสีที่อ่านได้กับกราฟมาตรฐาน

การเตรียมกราฟมาตรฐานกระทำใต้สภาวะเดียวกับตัวอย่างโดยใช้สารละลายเปล่าและสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียตามความเข้มข้นที่ต้องการ เติมน้ำกลั่นในแต่ละขวดกลั่นจนได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร แล้วทำการกลั่นด้วยอัตรา 6-10 มิลลิลิตตร/นาที ให้ปลายชุดเครื่องมือกลั่นจุ่มในสารละลายกรดบอริก 50 มิลลิลิตร ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของของเหลวที่กลั่นได้ 300 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร นำของเหลวที่กลั่นได้และปรับปริมาตรแล้วมา 50 มิลลิลิตร เพื่อทำปฏิกิริยากับน้ำยาเนสส์เลอร์ 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ปฏิกิริยาดำเนิน 10 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 475 นาโนเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์ปริมาณแอมโมเนียที่ทำปฏิกิริยา

กับน้ำยาเนสส์เลอร์ - ค่าการดูดกลืนแสงที่ 475 นาโนเมตร (ภาพประกอบภาคผนวก ก1)



ภาพประกอบภาคผนวก ก1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนียที่ทำปฏิกิริยากับน้ำยาเนสส์เลอร์กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 475 นาโนเมตร

<u>การคำนวณ</u>

แอมโมเนียไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร) = $\frac{A}{B \times S} \times \frac{C}{D}$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ 475 นาโนเมตร

B คือ ความชันของกราฟมาตรฐาน

S คือ มิลลิลิตรของตัวอย่างที่ใช้

C คือ ปริมาตรของตัวอย่างที่กลั่นได้ทั้งหมด

D คือ ปริมาตรของตัวอย่างที่กลั่นได้ซึ่งนำมาทำปฏิกิริยากับน้ำยาเนสส์เลอร์

ค่าสี (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ อุษา วิเศษสุมน, 2535)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง
2. เซลล์สำหรับบรรจุตัวอย่างที่จะวัดการดูดกลืนแสง

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานคลอโรแพลทติเนท

ละลายโพแทสเซียมคลอโรเพลททิเนท 0.1245 กรัม และผลึกโคบอลต์สคลอไรด์ 0.1 กรัม ในน้ำกลั่นซึ่งมีกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นอยู่ 10 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นของสีเท่ากับ 500 หน่วยสี (color unit)

วิธีการ

1. จากสาละลายมาตรฐาน 500 หน่วยสี นำมาเตรียมสารละลายที่มีความเข้มของสีตั้งแต่ 0-500 หน่วยสี ได้ตามตารางภาคผนวก ก1

ตารางภาคผนวก ก1 การเตรียมสารละลายสีมาตรฐาน ความเข้มข้น 0-500 หน่วยสี

ความเข้มข้นของสารละลายสีมาตรฐาน (color unit)	ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน 500 หน่วยสี (มิลลิลิตร)
0	0
10	0.5
20	1.0
30	1.5
40	2.0
50	2.5
100	5.0
150	7.5
200	10.0
250	12.5
300	15.0

ตารางภาคผนวก ก1 (ต่อ)การเตรียมสารละลายสีมาตรฐาน ความเข้มข้น 0-500 หน่วยสี

ความเข้มข้นของสารละลายสีมาตรฐาน (color unit)	ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน 500 หน่วยสี (มิลลิลิตร)
350	17.5
400	20.0
450	22.5
500	25.0

จากตารางภาคผนวก ก1 เตรียมสารละลายสีมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ โดยปิเปตสารละลายมาตรฐาน (500 หน่วยสี) ตามปริมาณที่กำหนดของแต่ละความเข้มข้น แล้วนำมาเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 25 มิลลิลิตร ก็จะได้สารละลายสีมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆกัน

หลังจากนั้นนำสารละลายสีมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นมาทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร แล้วเขียนกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี (color unit) กับค่าการดูดกลืนแสง (แสดงดังภาพประกอบภาคผนวก ก2)

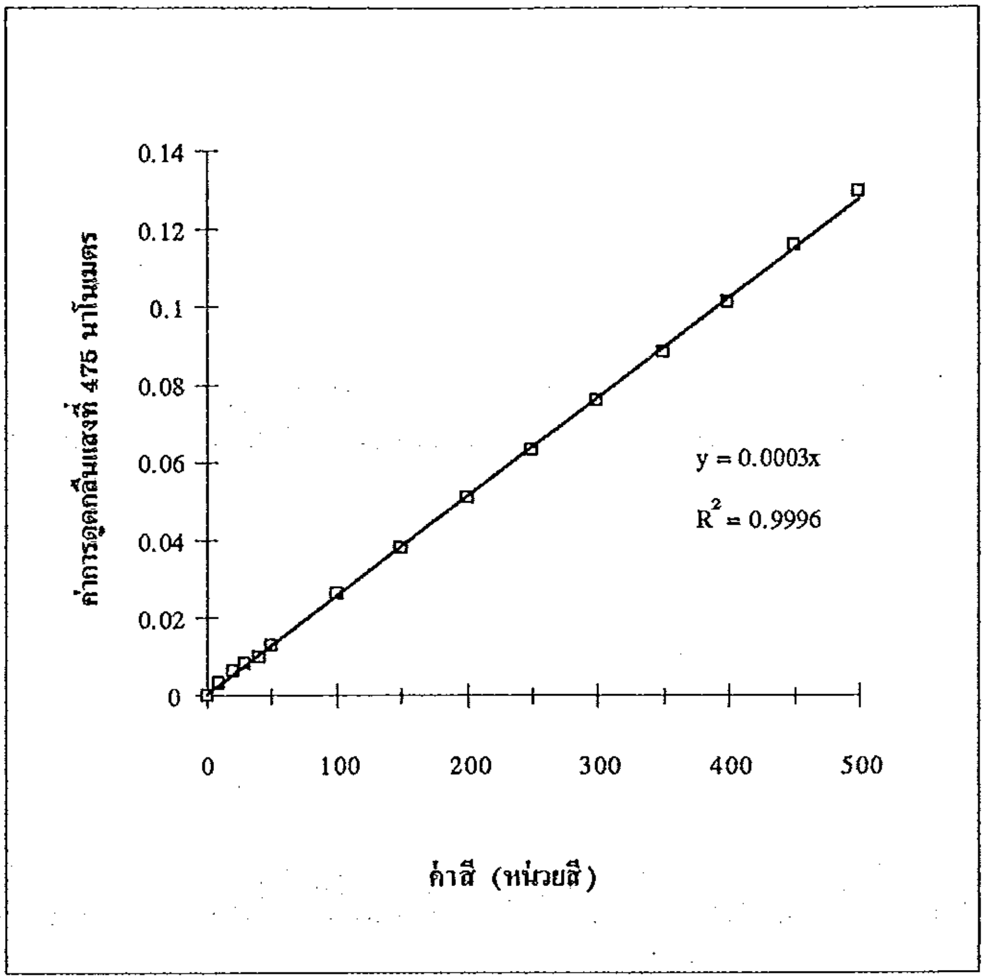
2. นำตัวอย่างน้ำมาแยกโดยใช้เครื่องแยกเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว 3500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ของแข็งที่แขวนลอยอยู่ตกตะกอนจนหมดได้น้ำใส นำน้ำใสใส่เซลล์วัดการดูดกลืนแสง และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารละลายเปล่า (blank) กรณีที่สีของน้ำเสียมีความเข้มข้นมากจะต้องทำการเจือจางตัวอย่างน้ำด้วยน้ำกลั่น ก่อนนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง เทียบค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับกราฟมาตรฐาน

<u>การคำนวณค่าสี</u>

หน่วยสี (color unit) = C x D

เมื่อ C = ค่าสีที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน

D = อัตราการเจือจางตัวอย่าง



ภาพประกอบภาคผนวก ก2 กราฟความสัมพันธ์ค่าสี - ค่าการดูดกลืนแสงที่ 475 นาโนเมตร

สารริดิวส์โฟลินส์ฟีนอล (Substances Reducing Folin's Phenol) (APHA, AWWA and WEF, 1992)

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง
2. เซลล์สำหรับบรรจุตัวอย่างที่จะวัดการดูดกลืนแสง

<u>สารเคมี</u>

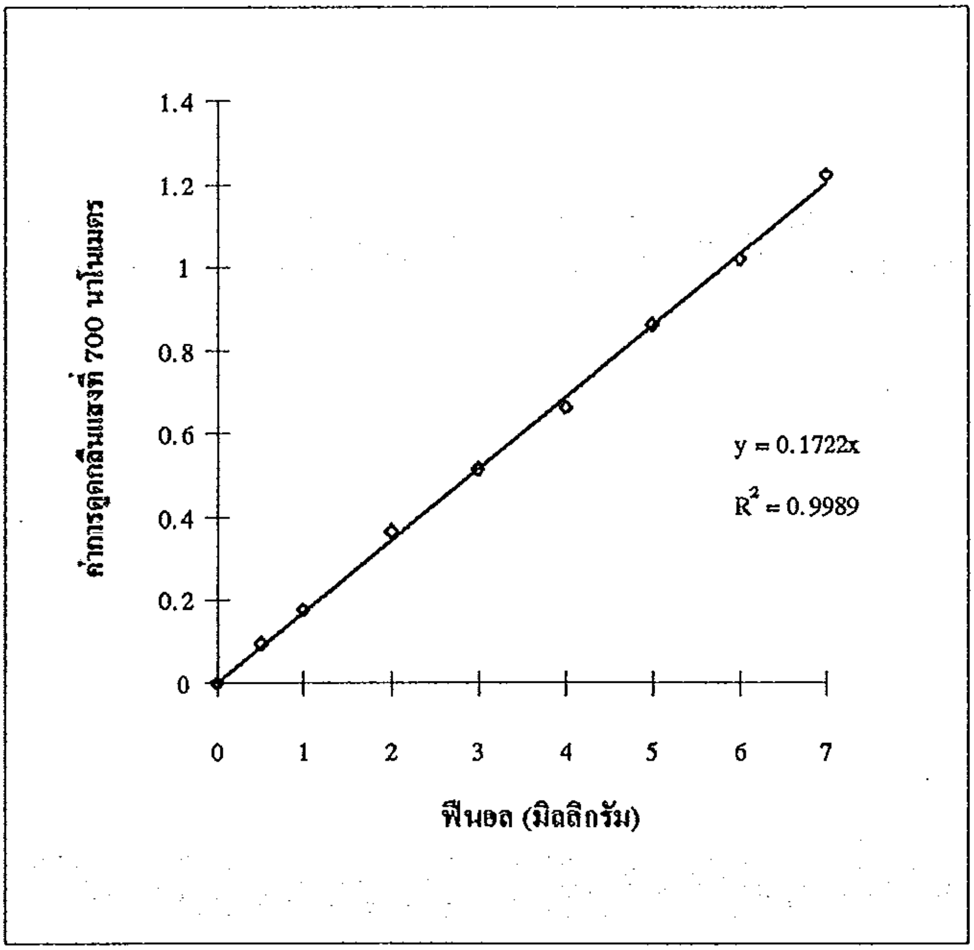
1. น้ำยาคาร์บอเนต - ทาร์เทรต

ละลาย Na_2CO_3 จำนวน 200 กรัม $Na_2C_4H_4O_6\ 2H_2O$ จำนวน 12 กรัม ด้วยน้ำกลั่นต้มเดือด 750 มิลลิลิตร รอให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องจึงปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2. น้ำยาโฟลินส์ฟีนอล

<u>วิธีการ</u>

นำน้ำตัวอย่างที่ใสหรือตัวอย่างที่เจือจางมา 50 มิลลิลิตร เติมน้ำยาโฟลินส์ฟีนอล 1 มิลลิลิตร ตามด้วยน้ำยาคาร์บอเนต-ทาร์เทรต 10 มิลลิลิตร รอให้เกิดสี 30 นาทีแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร เทียบหาความเข้มข้นของสารริคิวส์โฟลินส์ฟีนอล จากกราฟมาตรฐานซึ่งเตรียมได้โดยนำสารละลายฟีนอลความเข้มข้นต่างๆ มาเติมน้ำยาเคมีเหมือนตัวอย่างแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร จากนั้นจึงเขียนกราฟความสัมพันธ์ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร (ภาพประกอบภาคผนวก ก3)



ภาพประกอบภาคผนวก ก3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร

<u>การคำนวณ</u>

เข้มข้นของสารริคิวส์โฟลินส์ฟีนอล (มิลลิกรัมฟีนอล/ลิตร)

$$= \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง}}{\text{ความชันของกราฟมาตรฐาน}}$$

ภาคผนวก ข

- กำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่จะระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม
- กำหนดมาตรฐานน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

(สำเนา)

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535

เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ.2535) ออกตามความใน พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 ที่ระบุว่า "ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)" รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมจึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้

ข้อ 1 คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0

(2) ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

2.1 ค่า ทีดีเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า ทีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า ทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) โลหะหนักมีค่าดังนี้

4.1 ปรอท (Mercury)	ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.2 เซเลเนียม (Selenium)	ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.3 แคดเมียม (Cadmium)	ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.4 ตะกั่ว (Lead)	ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.5 อาร์เซนิค (Arsenic)	ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.6 โครเมียม (Chromium)	
4.6.1 Hexavalent Chromium	ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.6.2 Trivalent Chromium	ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.7 บาเรียม (Barium)	ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.8 นิเกิล (Nickel)	ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.9 ทองแดง (Copper)	ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.10 สังกะสี (Zinc)	ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
4.11 แมงกานีส (Manganese)	ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

(7) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(9) คลอรีนอิสระ (Free Chlorine) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(10) เพสติไซด์ (Pesticide) ต้องไม่มี

(11) อุณหภูมิ ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส

(12) สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(13) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) ค่า บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

(16) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

(2) การตรวจสอบค่า ทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง

(3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)

(4) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่น สเปคโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเร็คแอสไพเรชั่น (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสม่า อีมิสชั่น สเปคโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิค และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่น สเปคโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์ เจนเนอเรชั่น (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสม่า อีมิสชั่น สเปคโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่น โคลด์ เวเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technigue)

(5) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไตเตรท (Titrate)

(6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดีน บาร์บิทูริคแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(7) การตรวจสอบค่าฟอร์มาลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

(8) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี 4-อะมิโนแอนติไพรีน (Distillation, 4-Aminoantipyrine)

(9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอโดเมตริค (Iodomctric Method)

(10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas-Chromatography)

(11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(13) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชั่น (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ

(14) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl)

(15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียม ไดโครเมต (Potassium Dichromate digestion)

ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ 3 จะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association, American Water Work Associantion และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ.2539
ไชยวัฒน์ สินสุวงศ์
(นายไชยวัฒน์ สินสุวงศ์)
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

สำเนาถูกต้อง

(นายเสถียร วีระวงศ์)
เจ้าหน้าที่บริหารงานธุรการ 5

ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52 ง วันที่ 27 มิถุนายน 2539

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ
ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537)
ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535
เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 32 (1) แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ประกาศกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินไว้ดังต่อไปนี้

หมวด 1
บททั่วไป

ข้อ 1 ในประกาศนี้

"แหล่งน้ำผิวดิน" หมายถึง แม่น้ำ ลำคลอง หนองบึง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ และแหล่งน้ำสาธารณะอื่น ๆ ที่อยู่ภายในผืนแผ่นดิน ซึ่งหมายความรวมถึงแหล่งน้ำสาธารณะที่อยู่ภายในผืนแผ่นดินบนเกาะด้วย แต่ไม่รวมถึงน้ำบาดาล และในกรณีที่แหล่งน้ำนั้นอยู่ติดกับทะเลให้หมายความถึงแหล่งน้ำที่อยู่ภายในปากแม่น้ำหรือปากทะเลสาบ ปากแม่น้ำและปากทะเลสาบให้ถือแนวเขตตามที่กรมเจ้าท่ากำหนด

หมวด 2
ประเภทและมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ข้อ 2 ให้แบ่งแหล่งน้ำผิวดินออกเป็น 5 ประเภท คือ แหล่งน้ำประเภทที่ 1 แหล่งน้ำประเภทที่ 2 แหล่งน้ำประเภทที่ 3 แหล่งน้ำประเภทที่ 4 และแหล่งน้ำประเภทที่ 5

(1) แหล่งน้ำประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(ก) การอุปโภคและบริโภคโดยผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน

(ข) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน

(ค) การอนุรักษ์ระบบนิเวศของแหล่งน้ำ

(2) แหล่งน้ำประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(ก) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(ข) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ

(ค) การประมง

(ง) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

(3) แหล่งน้ำประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(ก) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(ข) การเกษตร

(4) แหล่งน้ำประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(ก) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน

(ข) การอุตสาหกรรม

(5) แหล่งน้ำประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

ข้อ 3 คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ต้องมีสภาพตามธรรมชาติและสามารถใช้ประโยชน์ได้ตามข้อ2(1)

ข้อ 4 คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ต้องมีมาตรฐานดังต่อไปนี้

(1) ไม่มีวัตถุหรือสิ่งของที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ซึ่งจะทำให้สี กลิ่น และรสของน้ำเปลี่ยนไปตามธรรมชาติ

(2) อุณหภูมิ (Temperature) ไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส

(3) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าระหว่าง 5.0 - 9.0

(4) ออกซิเจนละลาย (DO) มีค่าไม่น้อยกว่า 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) บีโอดี (BOD) มีค่าไม่เกินกว่า 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria) มีค่าไม่เกินกว่า 5,000 เอ็มพีเอ็น ต่อ 100 มิลลิลิตร

(7) แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria) มีค่าไม่เกินกว่า 1,000 เอ็มพีเอ็น. ต่อ 100 มิลลิลิตร

(8) ไนเตรต (NO_3) ในหน่วยไนโตรเจน มีค่าไม่เกินกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(9) แอมโมเนีย (NH_3) ในหน่วยไนโตรเจน มีค่าไม่เกินกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

(10) ฟีนอล (Phenols) มีค่าไม่เกินกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

(11) ทองแดง (Cu) มีค่าไม่เกินกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(12) นิคเกิล (Ni) มีค่าไม่เกินกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(13) แมงกานีส (Mn) มีค่าไม่เกินกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(14) สังกะสี (Zn) มีค่าไม่เกินกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) แคดเมียม (Cd) ในน้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าไม่เกินกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร และในน้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าไม่เกินกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

(16) โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเลนท์ (Cr Hexavalent) มีค่าไม่เกินกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ตะกั่ว (Pb) มีค่าไม่เกินกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

(18) ปรอททั้งหมด (Total Hg) มีค่าไม่เกินกว่า 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร

(19) สารหนู (As) มีค่าไม่เกินกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร

(20) ไซยาไนด์ (Cyanide) มีค่าไม่เกินกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

(21) กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) มีค่ารังสีแอลฟา (Alpha) ไม่เกินกว่า 0.1 เบคเคอเรลต่อลิตร และรังสีเบตา (Beta) ไม่เกินกว่า 1.0 เบคเคอเรลต่อลิตร

(22) สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides) มีค่าไม่เกินกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

(23) ดีดีที (DDT) มีค่าไม่เกินกว่า 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

(24) บีเอชซีชนิดแอลฟา (Alpha-BHC) มีค่าไม่เกินกว่า 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร

(25) ดิลดริน (Dieldrin) มีค่าไม่เกินกว่า 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร

(26) อัลดริน (Aldrin) มีค่าไม่เกินกว่า 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร

(27) เฮปตาคลอร์ (Heptachlor) และเฮปตาคลอร์อีป๊อกไซด์ (Heptachlorepoxide) มีค่าไม่เกินกว่า 0.2 ไมโครกรัมต่อลิตร

(28) เอนดริน (Endrin) ไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด

ข้อ 5 คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 3 ต้องมีมาตรฐานตาม ข้อ 4 เว้นแต่

(1) ออกซิเจนละลาย มีค่าไม่น้อยกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(2) บีโอดี มีค่าไม่เกินกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด มีค่าไม่เกินกว่า 20,000 เอ็ม.พี.เอ็น. ต่อ 100 มิลลิลิตร

(4) แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม มีค่าไม่เกินกว่า 4,000 เอ็ม.พี.เอ็น. ต่อ 100 มิลลิลิตร

ข้อ 6 คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 4 ต้องมีมาตรฐานตาม ข้อ 4 (1) ถึง (5) และ (8) ถึง (28) เว้นแต่

(1) ออกซิเจนละลาย มีค่าไม่น้อยกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(2) บีโอดี มีค่าไม่เกินกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 7 คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ต้องมีมาตรฐานต่ำกว่าคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 4

ข้อ 8 การกำหนดให้แหล่งน้ำผิวดินแหล่งใดแหล่งหนึ่งเป็นประเภทใดตามข้อ 2 ให้เป็นไปตามที่กรมควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา

หมวด 3
วิธีการเก็บตัวอย่างและตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ข้อ 9 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพตามข้อ 3 ถึงข้อ 7 ให้ใช้วิธีการดังต่อไปนี้

(1) แหล่งน้ำไหล ซึ่งได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง เป็นต้น ให้เก็บที่จุดกึ่งกลางความกว้างของแหล่งน้ำที่ระดับกึ่งกลางความลึก ณ จุดตรวจสอบ เว้นแต่แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม ให้เก็บที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ณ จุดตรวจสอบ

(2) แหล่งน้ำนิ่ง ซึ่งได้แก่ ทะเลสาบ หนอง บึง อ่างเก็บน้ำ เป็นต้น ให้เก็บที่ระดับความลึก 1 เมตร ณ จุดตรวจสอบสำหรับแหล่งน้ำที่มีความลึกเกินกว่า 2 เมตร และให้เก็บที่จุดกึ่งกลางความลึก ณ จุดตรวจสอบสำหรับแหล่งน้ำที่มีความลึกไม่เกิน 2 เมตร เว้นแต่แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม ให้เก็บที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ณ จุดตรวจสอบ

จุดตรวจสอบตาม (1) และ (2) ของแหล่งน้ำที่กำหนดตามข้อ 8 ให้เป็นไปตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด

ข้อ 10 การตรวจสอบคุณภาพน้ำตามข้อ 3 ถึงข้อ 7 ให้ใช้วิธีการดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบอุณหภูมิ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(2) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่าง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH - meter) ตามวิธีการหาค่าแบบอีเล็คโตรเมตริก (Electrometric)

(3) การตรวจสอบค่าออกซิเจนละลาย ให้ใช้วิธีอะไซด์โมดิฟิเคชั่น (Azide Modification)

(4) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์โมดิฟิเคชั่น (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน

(5) การตรวจสอบค่าแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และค่าแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม ให้ใช้วิธีมัลติเพิ้ล ทิวบ์ เฟอร์เมนเตชั่น เทคนิค (Multiple Tube Fermentation Technique)

(6) การตรวจสอบค่าไนเตรดในหน่วยไนโตรเจน ให้ใช้วิธีแคดเมียมรีดัคชั่น (Cadmium Reduction)

(7) การตรวจสอบค่าแอมโมเนียในหน่วยไนโตรเจน ให้ใช้วิธีดิสทิลเลชั่นเนสสเลอร์ไรเซชั่น (Distillation Nesslerization)

(8) การตรวจสอบค่าฟีนอล ให้ใช้วิธีดิสทิลเลชั่น 4- อะมิโน แอนติไพรีน (Distillation, 4-Amino Antipyrene)

(9) การตรวจสอบค่าทองแดง นิคเกิล แมงกานีส สังกะสี แคดเมียม โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ และตะกั่ว ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอพชั่น-ไดเร็ค แอสไพเรชั่น (Atomic Absorption Direct Aspiration)

(10) การตรวจสอบค่าปรอททั้งหมด ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอพชั่นโคลด์ เวเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption-Cold Vapour Technique)

(11) การตรวจสอบค่าสารหนู ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอพชั่น แก๊สซัส ไฮไดรด์ (Atomic Absorption-Gaseous Hydride)

(12) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีไพริดีน บาร์บิทูริก แอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(13) การตรวจสอบค่ากัมมันตภาพรังสี ให้ใช้วิธีโลว์ แบ็คกราวด์ พร็อพพอร์ชั่นนอล เคาน์เตอร์ (Low Background Proportional Counter)

(14) การตรวจสอบค่าสารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด ดีดีที บีเอชซีชนิดแอลฟา ดิลดริน อัลดริน เฮปตาคลอร์อีปอกไซด์ และเอนดริน ให้ใช้วิธีก๊าซ-โครมาโตกราฟี (Gas-Chromatography)

ข้อ 11 การตรวจสอบค่าออกซิเจนละลายให้ใช้ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 20 (20th Percentile Value) ส่วนการตรวจสอบค่าบีโอดี แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม ให้ใช้ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 80 โดยจำนวนและระยะเวลาสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำดังกล่าว ให้เป็นไปตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด

ข้อ 12 การเก็บตัวอย่างน้ำตามข้อ 8 และการตรวจสอบคุณภาพน้ำตามข้อ 10 จะต้องเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater) ซึ่ง American Public Health Association และ American Water Works Association กับ Water Pollution Control Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

ประกาศ ณ วันที่ 20 มกราคม พ.ศ. 2537

(นายชวน หลีกภัย)
นายกรัฐมนตรี
ประธานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

ตารางภาคผนวก ค1 ซีโอดีที่คงเหลือในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ภายหลังการดูดซับแบบเททีละคราว (batch adsorption) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 6 ตัวอย่าง เป็นสารดูดซับ

ถ่านกัมมันต์		ซีโอดีที่คงเหลือ (มก./ล.)เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ในปริมาณต่างๆ (ก./100มล.)						
		0.00	0.02	0.05	0.10	0.20	0.50	1.00
(A)	ซ้ำที่ 1	253.91	-	230.46	213.80	191.59	141.61	102.74
	ซ้ำที่ 2	251.26	-	227.13	209.04	192.96	142.71	98.49
(B)	ซ้ำที่ 1	253.91	221.06	188.31	150.10	111.89	60.04	-
	ซ้ำที่ 2	247.24	212.05	181.49	137.55	105.07	59.22	-
(C)	ซ้ำที่ 1	253.91	-	222.13	199.92	169.37	111.07	99.85
	ซ้ำที่ 2	251.26	-	221.1	205.02	172.86	124.62	88.44
(D)	ซ้ำที่ 1	253.91	226.52	196.50	171.94	136.46	90.06	-
	ซ้ำที่ 2	247.24	221.61	198.68	173.85	129.91	93.61	-
(E)	ซ้ำที่ 1	253.91	231.98	199.23	166.48	131.00	90.06	-
	ซ้ำที่ 2	247.24	221.61	202.50	171.94	122.27	87.88	-
(F)	ซ้ำที่ 1	253.91	-	211.02	188.81	158.27	99.96	80.52
	ซ้ำที่ 2	251.26	-	209.04	188.94	156.78	102.51	78.39

ตารางภาคผนวก ค2 ซีโอดีที่คงเหลือในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ภายหลังการดูดซับแบบเททีละคราว (batch adsorption) ที่ระดับพีเอชต่างๆ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 2 ตัวอย่าง เป็นสารดูดซับ

ถ่านกัมมันต์	พีเอช		ซีโอดีที่คงเหลือ (มก./ล.)เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ในปริมาณต่างๆ (ก./100มล.)				
			0.00	0.05	0.10	0.20	0.50
(D)	6	ซ้ำที่ 1	236.13	173.63	148.16	104.18	67.14
		ซ้ำที่ 2	249.08	187.28	151.70	112.37	71.17
	7	ซ้ำที่ 1	236.13	178.26	145.85	104.18	71.77
		ซ้ำที่ 2	243.46	192.90	161.06	127.35	78.66
	8	ซ้ำที่ 1	236.13	185.20	143.53	122.70	78.71
		ซ้ำที่ 2	252.83	194.77	174.17	144.21	80.53
	9.47	ซ้ำที่ 1	236.13	187.52	157.42	134.27	85.66
		ซ้ำที่ 2	250.96	202.26	179.79	142.33	95.51
(E)	6	ซ้ำที่ 1	238.45	162.05	134.27	97.23	57.88
		ซ้ำที่ 2	242.89	166.99	134.73	97.88	58.83
	7	ซ้ำที่ 1	229.19	164.37	152.79	104.18	67.14
		ซ้ำที่ 2	241.00	180.27	157.50	111.96	72.11
	8	ซ้ำที่ 1	247.71	187.52	166.68	122.70	76.40
		ซ้ำที่ 2	241.00	187.86	166.99	115.75	81.60
	9.47	ซ้ำที่ 1	245.39	196.78	157.42	127.33	85.66
		ซ้ำที่ 2	244.79	189.76	166.99	127.14	81.60

ตารางภาคผนวก ค3 ซีโอดีที่คงเหลือเมื่อน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไหลผ่าน
ชั้นถ่านกัมมันต์ระดับความลึกต่างๆ ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

อัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที				
ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	เวลา (นาที)	ซีโอดีที่คงเหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)		
		ถ่านกัมมันต์ (D)	ถ่านกัมมันต์ (E)	ถ่านกัมมันต์ (E) (ฟื้นสภาพ)
30	15	36.92	-	-
	20	49.23	-	-
	25	51.28	61.51	54.79
	30	63.59	65.48	-
	37	80.00	85.32	58.70
	45	96.41	95.23	62.62
	60	121.03	113.09	91.97
	75	135.38	119.05	105.67
	90	139.49	123.02	111.54
	105	141.54	130.95	127.19
	120	-	-	127.19
60	30	34.87	-	-
	40	41.03	-	-
	50	51.28	63.49	-
	60	55.38	63.49	46.96
	75	57.44	69.44	45.01
	90	59.49	73.41	46.96
	120	69.74	83.33	58.70
	150	92.31	93.25	82.19
	180	123.08	111.11	93.93
	210	135.38	117.06	-
	220	-	-	101.75
	240	-	-	109.58
	300	-	-	123.28

ตารางภาคผนวก ค3 (ต่อ) ซีโอดีที่คงเหลือเมื่อน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไหลผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ระดับความลึกต่างๆ ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

อัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที				
ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	เวลา (นาที)	ซีโอดีที่คงเหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)		
		ถ่านกัมมันต์ (D)	ถ่านกัมมันต์ (E)	ถ่านกัมมันต์ (E) (ฟื้นสภาพ)
90	60	44.68	-	-
	75	53.23	-	-
	90	58.94	59.52	-
	113	62.74	57.54	41.09
	135	-	61.51	52.83
	149	68.44	-	-
	180	87.45	69.44	60.66
	225	114.07	77.38	68.49
	270	133.08	85.32	76.32
	315	153.99	97.22	80.23
	360	157.80	107.14	84.14
	405	-	115.08	95.88
	450	-	-	105.67
120	83	45.63	-	-
	102	55.13	-	-
	122	57.03	-	-
	150	62.74	-	37.18
	180	64.64	63.49	37.18
	240	79.85	65.48	41.09
	300	104.56	71.43	56.75
	360	123.58	79.36	60.66
	420	134.98	85.32	68.49
	480	144.49	93.25	72.40
	540	-	103.17	80.23

ตารางภาคผนวก ค3 (ต่อ) ซีโอดีที่คงเหลือเมื่อน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไหลผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ระดับความลึกต่างๆ ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

อัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที				
ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	เวลา (นาที)	ซีโอดีที่คงเหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)		
		ถ่านกัมมันต์ (D)	ถ่านกัมมันต์ (E)	ถ่านกัมมันต์ (E) (ฟื้นสภาพ)
120	600	-	111.11	-
	630	-	-	90.97
	660	-	117.06	-
	720	-	-	107.62
	810	-	-	123.28
150	102	57.03	-	-
	150	57.03	-	-
	183	60.84	51.59	-
	225	66.54	53.57	37.18
	300	74.16	-	45.01
	340	-	59.52	-
	375	87.45	65.48	48.92
	450	-	71.43	52.83
	525	-	81.35	60.66
	600	-	95.24	72.40
	675	-	105.16	-
	700	-	-	80.23
	750	-	113.09	-
	810	-	-	95.88
	900	-	-	107.62
	1000	-	-	117.41
180	150	49.43	-	-
	180	53.23	-	-
	225	57.03	53.57	-

ตารางภาคผนวก ค3 (ต่อ) ซีโอดีที่คงเหลือเมื่อน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไหลผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ระดับความลึกต่างๆ ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

อัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที				
ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	เวลา (นาที)	ซีโอดีที่คงเหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)		
		ถ่านกัมมันต์ (D)	ถ่านกัมมันต์ (E)	ถ่านกัมมันต์ (E) (ฟื้นสภาพ)
180	270	-	-	41.09
	360	-	53.57	45.01
	450	-	57.54	48.92
	540	-	61.51	52.83
	630	-	71.43	56.75
	720	-	77.38	64.57
	810	-	93.25	68.49
	900	-	103.17	74.36
	1000	-	-	84.14
	1100	-	-	95.88

อัตราน้ำล้นผิว 4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที			
ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	เวลา (นาที)	ซีโอดีที่คงเหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)	
		ถ่านกัมมันต์ (D)	ถ่านกัมมันต์ (E)
30	10	63.66	71.86
	13	69.82	79.84
	16	82.14	87.82
	20	112.94	107.78
	24	127.31	123.75
	32	156.06	141.72
	40	178.65	155.69
	48	184.81	163.67
	56	299.80	175.65
	64	328.54	

ตารางภาคผนวก ค3 (ต่อ) ซีโอดีที่คงเหลือเมื่อน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไหลผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ระดับความลึกต่างๆ ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

อัตราน้ำล้นผิว 4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที			
ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	เวลา (นาที)	ซีโอดีที่คงเหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)	
		ถ่านกัมมันต์ *(D)*	ถ่านกัมมันต์ *(E)*
180	225	106.78	87.82
	275	129.36	99.80
	315	154.01	109.78
	360	168.38	119.76
	405	-	123.75
อัตราน้ำล้นผิว 8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที			
ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	เวลา (นาที)	ซีโอดีที่คงเหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)	
		ถ่านกัมมันต์ *(D)*	ถ่านกัมมันต์ *(E)*
30	4	-	42.86
	5	112.03	69.39
	6	126.56	83.67
	8	155.60	100.00
	10	176.35	112.24
	12	186.72	126.53
	16	195.02	134.69
	20	205.39	144.90
	24	209.54	-
	28	226.14	-
60	8	53.94	-
	10	72.61	48.98
	13	87.14	57.14
	16	107.88	67.35
	20	139.00	79.59

ตารางภาคผนวก ค3 (ต่อ) ซีโอดีที่คงเหลือเมื่อน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไหลผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ระดับความลึกต่างๆ ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

อัตราน้ำล้นผิว 4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที			
ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	เวลา (นาที)	ซีโอดีที่คงเหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)	
		ถ่านกัมมันต์ *(D)*	ถ่านกัมมันต์ *(E)*
60	20	61.60	-
	25	67.76	63.87
	30	75.98	67.86
	37	82.14	73.85
	45	98.56	79.84
	60	135.52	99.80
	75	168.38	115.77
	90	176.59	127.74
	105	180.70	139.72
	150	211.50	-
90	29	57.50	-
	36	61.60	55.89
	44	61.60	55.89
	55	67.76	59.88
	66	82.14	75.85
	88	98.56	83.83
	110	121.12	97.80
	132	143.74	113.77
	156	162.22	123.75
	176	168.38	131.74
120	40	45.17	-
	50	57.50	-
	60	57.50	61.88
	75	63.66	67.86

ตารางภาคผนวก ค3 (ต่อ) ซีโอดีที่คงเหลือเมื่อน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไหลผ่าน ชั้นถ่านกัมมันต์ระดับความลึกต่างๆ ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

อัตราน้ำล้นผิว 4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที			
ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	เวลา (นาที)	ซีโอดีที่คงเหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)	
		ถ่านกัมมันต์ *(D)*	ถ่านกัมมันต์ *(E)*
120	90	71.90	67.86
	120	90.51	83.83
	150	119.10	97.80
	180	141.68	109.78
	210	156.06	117.76
	240	172.49	123.75
	280	-	131.74
150	49	45.17	-
	61	53.39	-
	74	61.60	57.88
	93	63.66	57.88
	112	67.76	63.87
	145	84.19	69.86
	185	102.67	79.84
	225	129.36	99.80
	259	151.95	113.77
	296	164.27	-
	315	-	121.76
180	60	39.01	-
	75	47.23	-
	90	63.66	55.89
	113	65.71	55.89
	135	69.82	59.88
	180	86.24	67.86

ตารางภาคผนวก ค3 (ต่อ) ซีโอดีที่คงเหลือเมื่อน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไหลผ่าน
ชั้นถ่านกัมมันต์ระดับความลึกต่างๆ ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

อัตราน้ำล้นผิว 8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที			
ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	เวลา (นาที)	ซีโอดีที่คงเหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)	
		ถ่านกัมมันต์ *(D)*	ถ่านกัมมันต์ *(E)*
60	24	165.97	85.71
	32	190.87	112.24
	40	192.95	130.61
	48	205.39	140.82
	56	205.39	151.02
90	11	43.57	53.06
	14	51.87	57.14
	17	53.94	-
	22	66.39	63.26
	27	80.91	69.39
	33	107.88	83.67
	44	149.38	102.04
	55	174.27	128.57
	66	192.95	142.86
	77	199.17	-
120	15	43.57	-
	20	53.94	57.14
	25	58.09	61.22
	30	68.46	-
	37	80.91	69.39
	45	97.51	83.67
	60	128.63	100.00
	75	155.60	118.37
	90	161.83	130.61

ตารางภาคผนวก ค3 (ต่อ) ซีโอดีที่คงเหลือเมื่อน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไหลผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ระดับความลึกต่างๆ ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

อัตราน้ำล้นผิว 8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที			
ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	เวลา (นาที)	ซีโอดีที่คงเหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)	
		ถ่านกัมมันต์ *(D)*	ถ่านกัมมันต์ *(E)*
120	105	170.12	-
	110	-	134.69
150	19	37.34	-
	25	49.79	-
	32	51.87	51.02
	38	60.17	51.02
	47	72.61	59.18
	57	93.36	63.26
	76	116.18	81.63
	95	143.15	93.88
	114	-	116.33
	124	168.05	-
	136	-	124.49
	143	172.20	-
180	29	43.57	-
	36	53.94	44.90
	44	60.17	42.86
	55	64.32	-
	66	76.76	48.98
	88	107.88	67.35
	110	132.78	79.59
	132	157.68	97.96
	154	168.05	118.37
	176	174.27	126.53

ตารางภาคผนวก ค3 (ต่อ) ซีโอดีที่คงเหลือเมื่อน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไหลผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ระดับความลึกต่างๆ ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

อัตราน้ำล้นผิว 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที			
ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	เวลา (นาที)	ซีโอดีที่คงเหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)	
		ถ่านกัมมันต์ *(D)*	ถ่านกัมมันต์ *(E)*
60	5	116.88	93.63
	6	136.36	111.55
	8	165.58	127.49
	10	175.33	151.40
	12	201.30	173.31
	16	224.03	187.25
	20	233.77	199.20
	24	250.00	203.19
90	8	110.40	87.65
	10	129.87	91.63
	12	162.34	113.55
	15	175.32	129.48
	18	194.81	135.46
	24	214.29	147.41
	30	240.26	167.33
	36	250.00	185.26
120	8	100.65	-
	10	-	67.73
	13	-	83.67
	16	123.38	91.63
	20	-	105.58
	24	162.34	119.52
	32	181.82	147.41
	40	198.05	157.37
	48	204.55	167.33

ตารางภาคผนวก ค3 (ต่อ) ซีโอดีที่คงเหลือเมื่อน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไหลผ่าน ชั้นถ่านกัมมันต์ระดับความลึกต่างๆ ด้วยอัตราน้ำล้นผิวต่างๆ

อัตราน้ำล้นผิว 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที			
ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	เวลา (นาที)	ซีโอดีที่คงเหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)	
		ถ่านกัมมันต์ *(D)*	ถ่านกัมมันต์ *(E)*
120	56	227.27	-
	80	246.75	-
150	9	90.91	-
	12	-	51.79
	15	-	57.77
	18	107.14	73.71
	22	-	87.65
	27	133.12	101.59
	36	159.09	121.51
	45	181.82	133.47
	54	-	145.42
	63	220.78	-
	81	230.52	-
	90	240.26	-
180	11	73.05	-
	17	-	63.75
	22	93.34	71.71
	27	-	83.67
	33	129.87	99.60
	44	158.28	117.53
	55	178.57	129.48
	66	-	141.44
	77	219.16	149.40
	88	-	161.36
	100	231.33	-

ตารางภาคผนวก ค4 ค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบระบบดูดซับด้วยถ่าน

ตัวอย่างถ่านกัมมันต์	อัตราน้ำล้นผิว (ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที)	ค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์								
		N_0 (มิลลิกรัม/ลิตร)			K (มิลลิลิตร/มิลลิกรัม/นาที)			D_0 (เซนติเมตร)		
		ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
ถ่านกัมมันต์ (D)	2	2100.93	2189.68	2160.56	0.0206	0.0192	0.0203	17.37	17.82	17.10
	4	1920.57	1912.42	1893.71	0.0376	0.0383	0.0404	22.90	22.10	21.12
	8	1478.98	1489.02	1501.45	0.0770	0.0760	0.0740	28.01	28.19	28.70
	16	1038.70	1040.61	1049.17	0.1420	0.1420	0.1340	42.55	42.34	44.57
ถ่านกัมมันต์ (E)	2	3986.64	4054.50	3798.08	0.0068	0.0064	0.0080	23.09	24.04	20.36
	4	2771.37	2755.68	2689.00	0.0197	0.0203	0.0216	24.80	24.24	23.37
	8	2292.15	2231.92	2289.81	0.0476	0.0500	0.0479	26.35	25.72	26.21
	16	1640.14	1602.57	1616.60	0.0702	0.0735	0.0729	42.41	41.47	41.44
ถ่านกัมมันต์ (E) (ฟื้นสภาพ)	2	4554.79	4509.06	4508.28	0.0057	0.0058	0.0059	21.99	22.13	21.62

ตารางภาคผนวก ค5-1 สมบัติของน้ำที่เข้าและออกจากระบบดูดซับ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

เวลา (นาที)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก.แคลเซียม-คาร์บอเนต/ลิตร)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	ของแข็งละลายได้ (มก./ลิตร)	บีโอดี (มก./ลิตร)	ซีโอดี (มก./ลิตร)	เจลดาห์ลไนโตรเจน (มก./ลิตร)	แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ลิตร)	สี (หน่วยสี)	สารริดิวซ์โฟลินส์ฟีนอล (มก.ฟีนอล/ลิตร)
90-180	9.45	958.07(95.12)	7.5(75.00)	2208.5(87.69)	9.55(59.43)	38.02(12.90)	2.12(13.75)	0.39(7.10)	32(4.23)	0.14(2.99)
180-270	9.40	940.72(93.40)	7.5(75.00)	2205.5(87.57)	9.64(59.99)	38.02(12.90)	5.04(32.68)	1.48(26.96)	39(5.16)	0.27(5.76)
270-360	9.43	983.15(97.61)	8.5(85.00)	2204.5(87.53)	9.55(59.43)	53.23(18.06)	6.15(39.88)	1.90(34.61)	41(5.42)	0.39(8.33)
360-450	9.42	994.17(98.70)	9.0(90.00)	2204.5(87.53)	10.26(63.85)	64.64(21.94)	6.96(45.14)	2.86(52.09)	48(6.35)	0.45(9.62)
450-540	9.42	994.17(98.70)	8.0(80.00)	2231.0(88.58)	10.02(62.35)	77.95(26.45)	7.26(47.08)	4.56(83.06)	76(10.05)	0.66(14.10)
540-630	9.40	995.70(98.85)	8.5(85.00)	2236.5(88.80)	10.02(62.35)	95.00(32.24)	7.86(50.97)	5.03(91.62)	189(25.00)	1.29(27.56)
630-720	9.40	994.17(98.70)	8.5(85.00)	2241.5(89.00)	10.38(64.59)	114.07(38.71)	8.97(58.17)	5.12(93.26)	281(37.15)	1.75(37.35)
น้ำเข้าระบบ	9.40	1007.24	10.0	2518.5	16.07	294.66	15.42	5.49	756	4.68

<u>หมายเหตุ</u> ตัวเลขใน ( ) แสดงร้อยละของมลสารในน้ำที่ออกจากระบบเทียบกับมลสารในน้ำเข้าระบบ

ตารางภาคผนวก ค5-2 สมบัติของน้ำที่เข้าและออกจากระบบดูดซับ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

เวลา (นาที)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก.แคลเซียม-คาร์บอเนต/ลิตร)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	ของแข็งละลายได้ (มก./ลิตร)	บีโอดี (มก./ลิตร)	ซีโอดี (มก./ลิตร)	เจลดาห์ลไนโตรเจน (มก./ลิตร)	แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ลิตร)	สี (หน่วยสี)	สารริดิวซ์โฟลินส์ฟีนอล (มก.ฟีนอล/ลิตร)
45-90	9.42	879.30(87.03)	8.0(72.73)	2207.0(87.77)	10.31(72.00)	39.01(13.01)	2.22(13.68)	0.80(15.01)	30(3.95)	0.15(3.22)
90-135	9.40	956.37(94.99)	8.5(77.27)	2216.0(88.13)	10.12(70.67)	55.44(18.49)	4.23(26.06)	1.71(32.08)	35(4.61)	0.24(5.15)
135-180	9.43	983.26(97.66)	8.5(77.27)	2261.5(89.94)	12.05(84.15)	57.49(19.18)	5.44(33.52)	2.65(49.72)	39(5.13)	0.34(7.30)
180-225	9.42	984.20(97.75)	9.5(86.36)	2277.0(90.55)	11.93(83.31)	63.66(21.23)	6.25(38.51)	4.08(76.55)	45(5.92)	0.44(9.44)
225-270	9.42	989.94(98.32)	9.5(86.36)	2288.0(90.99)	10.62(74.16)	88.30(29.45)	7.36(45.35)	4.73(88.74)	64(8.42)	0.49(10.52)
270-315	9.43	989.66(98.29)	9.5(86.36)	2295.0(91.27)	13.37(93.37)	97.50(32.52)	8.16(50.28)	4.90(91.93)	136(17.89)	0.95(20.39)
315-360	9.40	991.33(98.46)	8.5(77.27)	2337.0(92.94)	13.21(92.25)	121.15(40.41)	9.27(57.12)	5.20(97.56)	203(26.71)	1.48(31.76)
360-405	9.42	992.77(98.60)	8.0(72.73)	2338.0(92.98)	13.68(95.53)	143.74(47.95)	9.58(59.03)	5.29(99.25)	321(42.24)	1.95(41.85)
น้ำเข้าระบบ	9.42	1006.86	11.0	2514.5	14.32	299.79	16.23	5.33	760	4.66

<u>หมายเหตุ</u> ตัวเลขใน ( ) แสดงร้อยละของมลสารในน้ำที่ออกจากระบบเทียบกับมลสารในน้ำเข้าระบบ

ตารางภาคผนวก ค5-3 สมบัติของน้ำที่เข้าและออกจากระบบดูดซับ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

เวลา (นาที)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก.แคลเซียม-คาร์บอเนต/ลิตร)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	ของแข็งละลายได้ (มก./ลิตร)	บีโอดี (มก./ลิตร)	ซีโอดี (มก./ลิตร)	เจลดาห์ลไนโตรเจน (มก./ลิตร)	แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ลิตร)	สี (หน่วยสี)	สารริดิวซ์โฟลินส์ฟีนอล (มก.ฟีนอล/ลิตร)
22-44	9.47	878.73(87.39)	7.5(71.43)	2178.5(87.14)	10.91(77.78)	39.42(13.19)	2.52(15.43)	0.28(4.87)	35(4.65)	0.14(2.99)
44-66	9.43	954.36(94.91)	8.0(76.19)	2211.0(88.44)	10.81(76.99)	53.94(18.05)	4.59(28.11)	2.01(34.96)	68(9.04)	0.27(5.77)
66-88	9.42	983.10(97.77)	7.5(71.43)	2222.5(88.9)	12.80(91.17)	68.42(22.90)	6.10(37.35)	3.48(60.52)	114(15.16)	0.28(5.98)
88-110	9.43	983.48(97.81)	9.0(85.71)	2226.0(89.04)	12.56(89.46)	101.66(34.03)	8.16(49.97)	4.42(76.87)	171(22.74)	1.32(28.21)
110-132	9.43	990.23(98.46)	9.0(85.71)	2306.0(92.24)	11.96(85.19)	128.63(43.05)	9.27(56.77)	4.77(82.96)	270(35.90)	2.05(43.80)
132-154	9.43	990.08(98.46)	8.0(76.19)	2290.0(91.60)	13.08(93.16)	143.15(47.91)	9.68(59.28)	5.09(88.52)	395(52.53)	2.38(50.85)
154-176	9.44	992.17(98.67)	9.0(85.71)	2344.0(93.76)	12.28(87.46)	163.90(54.86)	10.48(64.18)	5.18(90.09)	450(59.84)	2.65(56.62)
176-198	9.44	993.40(98.79)	9.0(85.71)	2344.0(93.76)	12.92(92.02)	172.20(57.64)	10.99(67.30)	5.29(92.00)	544(72.34)	2.90(61.97)
น้ำเข้าระบบ	9.40	1005.53	10.5	2500	14.04	298.76	16.33	5.75	752	4.68

หมายเหตุ ตัวเลขใน ( ) แสดงร้อยละของมลสารในน้ำที่ออกจากระบบเทียบกับมลสารในน้ำเข้าระบบ

ตารางภาคผนวก ค5-4 สมบัติของน้ำที่เข้าและออกจากระบบดูดซับ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

เวลา (นาที)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก.แคลเซียม-คาร์บอเนต/ลิตร)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	ของแข็งละลายได้ (มก./ลิตร)	บีโอดี (มก./ลิตร)	ซีโอดี (มก./ลิตร)	เจลดาห์ลไนโตรเจน (มก./ลิตร)	แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ลิตร)	สี (หน่วยสี)	สารริคิวซ์โฟลินส์ฟีนอล (มก.ฟีนอล/ลิตร)
11-22	9.43	901.97(89.47)	8.5(77.27)	2197.5(86.79)	9.89(70.04)	43.39(14.58)	4.64(28.24)	0.48(8.47)	47(6.25)	0.16(3.41)
22-33	9.41	972.47(96.46)	8.5(77.27)	2257.5(89.14)	10.37(73.44)	70.25(23.61)	5.85(35.61)	3.18(56.08)	66(8.78)	0.27(5.77)
33-44	9.42	983.28(97.54)	9.0(81.82)	2259.89.220	10.85(76.84)	99.17(33.33)	7.26(44.19)	4.43(78.13)	95(12.63)	0.42(8.97)
44-55	9.43	993.28(98.53)	7.5(68.18)	2306.5(91.07)	9.89(70.04)	132.23(44.44)	8.77(53.38)	4.95(87.30)	121(16.09)	1.54(32.91)
55-66	9.42	991.15(98.32)	9.0(81.82)	2384.0(94.15)	11.40(80.74)	144.63(48.61)	9.37(57.03)	5.12(90.30)	232(30.85)	2.27(48.50)
66-77	9.40	992.17(98.42)	8.5(77.27)	2379.5(93.98)	11.80(83.57)	165.29(55.56)	10.28(62.57)	5.20(91.71)	313(41.62)	2.74(52.78)
77-88	9.40	993.40(98.54)	8.0(77.27)	2387.0(94.27)	11.85(83.92)	175.62(59.03)	10.28(62.57)	5.29(93.30)	418(55.59)	3.01(64.32)
88-99	9.40	995.51(98.75)	8.5(77.27)	2404.5(94.96)	12.60(89.24)	181.82(61.11)	11.09(67.50)	5.32(93.83)	465(60.64)	3.17(67.74)
น้ำเข้าระบบ	9.40	1008.13	11.0	2532.0	14.12	297.52	16.43	5.67	752	4.68

<u>หมายเหตุ</u> ตัวเลขใน ( ) แสดงร้อยละของมลสารในน้ำที่ออกจากระบบเทียบกับมลสารในน้ำเข้าระบบ

ตารางภาคผนวก ค5-5 สมบัติของน้ำที่เข้าและออกจากระบบดูดซับ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

เวลา (นาที)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก.แคลเซียม-คาร์บอเนต/ลิตร)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	ของแข็งละลายได้ (มก./ลิตร)	บีโอดี (มก./ลิตร)	ซีโอดี (มก./ลิตร)	เจลดาห์ลไนโตรเจน (มก./ลิตร)	แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ลิตร)	สี (หน่วยสี)	สารรีดิวซ์โฟลินส์ฟีนอล (มก.ฟีนอล/ลิตร)
90-180	9.48	880.81(95.00)	7.0(82.35)	2075.0(88.20)	8.55(54.32)	49.60(17.48)	3.83(25.33)	1.03(16.86)	42(4.44)	0.11(2.00)
180-270	9.41	884.26(95.37)	8.5(100.00)	2102.5(89.35)	11.59(73.63)	51.58(18.18)	4.64(30.69)	1.97(32.24)	56(5.91)	0.20(3.63)
270-360	9.39	901.18(97.20)	8.0(94.12)	2025.0(86.08)	10.95(69.57)	53.57(18.88)	5.75(38.23)	2.60(42.55)	57(6.02)	0.23(4.17)
360-450	9.44	906.54(97.78)	8.0(94.12)	2044.0(86.89)	11.75(74.65)	55.55(19.58)	6.35(42.00)	5.12(83.80)	58(6.12)	0.34(6.17)
450-540	9.43	916.92(98.90)	8.0(94.12)	2042.0(86.80)	10.79(68.55)	57.54(20.28)	6.55(43.32)	5.39(88.22)	61(6.44)	0.46(8.34)
540-630	9.42	916.82(98.89)	8.0(94.12)	2108.0(89.61)	12.23(77.70)	63.49(22.38)	7.06(46.69)	5.43(88.87)	87(9.19)	0.68(12.34)
630-720	9.45	924.52(99.72)	7.5(88.24)	2085.5(88.65)	10.95(69.57)	79.36(27.97)	7.46(49.34)	5.44(89.03)	147(15.52)	1.05(19.06)
720-810	9.44	925.29(99.80)	8.5(100.00)	2107.5(89.56)	10.95(69.57)	89.28(31.47)	7.56(50.00)	5.47(89.53)	186(19.64)	1.41(25.59)
810-900	9.45	927.10(99.99)	8.5(100.00)	2161.5(91.86)	13.19(83.80)	95.23(33.57)	7.76(51.32)	5.48(89.69)	199(21.01)	1.50(27.22)
น้ำเข้าระบบ	9.41	927.15	8.5	2352.5	15.74	283.71	15.12	6.11	947	5.51

<u>หมายเหตุ</u> ตัวเลขใน ( ) แสดงร้อยละของมลสารในน้ำที่ออกจากระบบเทียบกับมลสารในน้ำเข้าระบบ

ตารางภาคผนวก ค5-6 สมบัติของน้ำที่เข้าและออกจากระบบดูดซับ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

เวลา (นาที)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก.แคลเซียม-คาร์บอเนต/ลิตร)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	ของแข็งละลายได้ (มก./ลิตร)	บีโอดี (มก./ลิตร)	ซีโอดี (มก./ลิตร)	เจลดาห์ลไนโตรเจน (มก./ลิตร)	แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ลิตร)	สี (หน่วยสี)	สารริดิวซ์โฟลินส์ฟีนอล (มก.ฟีนอล/ลิตร)
45-90	9.42	870.70(93.06)	7.5(83.33)	2093.5(86.45)	9.45(59.73)	49.90(17.30)	4.44(27.87)	1.49(23.43)	56(5.65)	0.15(2.66)
90-135	9.46	901.14(96.31)	8.0(88.89)	2121.0(87.61)	9.45(59.73)	51.90(17.99)	4.74(29.76)	2.35(36.95)	57(5.74)	0.18(3.19)
135-180	9.44	919.06(98.23)	8.5(94.44)	2121.5(87.63)	9.94(62.83)	61.88(21.45)	5.95(37.35)	3.41(53.62)	72(7.26)	0.30(5.32)
180-225	9.44	917.07(99.08)	8.5(94.44)	2145.5(88.62)	11.06(69.91)	73.85(25.61)	6.55(41.12)	4.41(69.34)	110(11.09)	0.48(8.51)
225-270	9.44	918.94(98.21)	8.5(94.44)	2135.5(88.19)	11.86(74.97)	93.81(32.53)	7.06(44.32)	5.45(85.69)	144(14.52)	0.58(10.28)
270-315	9.42	923.52(98.70)	8.5(94.44)	2138.5(88.33)	12.50(79.01)	97.80(33.91)	7.36(46.20)	5.63(88.52)	176(17.74)	1.08(19.15)
315-360	9.44	928.21(99.20)	8.0(88.89)	2160.0(89.22)	11.22(70.92)	107.78(37.37)	7.46(46.83)	5.67(89.15)	208(20.97)	1.45(25.71)
360-405	9.45	930.75(99.48)	8.0(88.89)	2199.0(90.83)	12.34(78.00)	111.78(38.76)	7.86(49.34)	5.71(89.78)	223(22.48)	1.54(27.30)
น้ำเข้าระบบ	9.40	935.66	9.0	2421.0	15.82	288.42	15.93	6.36	992	5.64

หมายเหตุ ตัวเลขใน ( ) แสดงร้อยละของมลสารในน้ำที่ออกจากระบบเทียบกับมลสารในน้ำเข้าระบบ

ตารางภาคผนวก ค5-7 สมบัติของน้ำที่เข้าและออกจากระบบดูดซับ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

เวลา (นาที)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก.แคลเซียมคาร์บอเนต/ลิตร)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	ของแข็งละลายได้ (มก./ลิตร)	บีโอดี (มก./ลิตร)	ซีโอดี (มก./ลิตร)	เจลดาห์ลไนโตรเจน (มก./ลิตร)	แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ลิตร)	สี (หน่วยสี)	สารรีดิวซ์โฟลินส์ฟีนอล (มก.ฟีนอล/ลิตร)
22-44	9.44	862.49(92.31)	7.0(82.35)	2092.0(88.74)	9.88(64.62)	36.73(12.59)	4.94(31.83)	2.15(34.73)	53(5.34)	0.17(3.11)
44-66	9.45	885.15(94.73)	8.0(94.12)	2086.0(88.48)	8.76(57.29)	44.90(15.39)	5.64(36.34)	2.63(42.49)	54(5.44)	0.23(4.21)
66-88	9.41	907.86(97.16)	8.0(94.12)	2107.0(89.37)	10.36(67.76)	61.22(20.98)	6.65(42.85)	3.85(62.20)	68(6.84)	0.30(5.49)
88-110	4.45	908.65(97.25)	7.5(88.23)	2186.5(92.75)	11.16(72.99)	77.55(26.57)	7.26(46.78)	4.82(77.87)	117(11.78)	0.55(10.07)
110-132	9.42	919.07(98.36)	7.5(88.23)	2221.5(94.23)	10.68(69.85)	87.75(30.07)	7.86(50.64)	5.68(91.76)	195(19.64)	0.97(17.77)
132-154	9.47	929.36(99.47)	8.0(94.12)	2219.0(94.13)	12.28(80.31)	114.28(39.16)	7.96(51.29)	5.72(92.41)	261(26.28)	1.42(26.01)
154-176	9.46	933.52(99.91)	8.5(100.00)	2245.5(95.25)	13.73(89.80)	124.49(42.66)	8.16(52.58)	5.76(93.05)	326(32.83)	1.58(28.94)
น้ำเข้าระบบ	9.42	934.35	8.5	2357.5	15.29	291.83	15.52	6.19	993	5.46

<u>หมายเหตุ</u> ตัวเลขใน ( ) แสดงร้อยละของมลสารในน้ำที่ออกจากระบบเทียบกับมลสารในน้ำเข้าระบบ

ตารางภาคผนวก ค5-8 สมบัติของน้ำที่เข้าและออกจากระบบดูดซับ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

เวลา (นาที)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก.แคลเซียม-คาร์บอเนต/ลิตร)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	ของแข็งละลายได้ (มก./ลิตร)	บีโอดี (มก./ลิตร)	ซีโอดี (มก./ลิตร)	เจลดาห์ลไนโตรเจน (มก./ลิตร)	แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ลิตร)	สี (หน่วยสี)	สารริคิวซ์โฟลินส์ฟีนอล (มก.ฟีนอล/ลิตร)
11-22	9.42	858.09(90.92)	7.5(88.24)	2133.5(87.08)	10.87(70.27)	35.86(12.68)	5.14(33.99)	2.31(37.99)	90(9.42)	0.24(4.28)
22-33	9.45	879.81(93.22)	8.5(100.00)	2191.5(89.45)	11.03(71.30)	51.79(18.31)	6.96(46.03)	3.10(50.99)	142(14.87)	0.38(6.77)
33-44	4.39	916.47(97.10)	8.0(94.12)	2224.0(90.78)	10.39(66.97)	79.68(28.17)	7.16(47.35)	4.48(76.68)	217(22.72)	1.01(18.00)
44-55	9.47	921.58(97.64)	8.0(94.12)	2324.0(94.86)	13.43(86.81)	95.62(33.80)	7.46(49.34)	5.15(84.70)	399(41.78)	1.91(34.05)
55-66	9.43	920.96(97.58)	7.5(88.24)	2335.5(95.32)	11.19(72.33)	103.58(36.62)	8.27(54.70)	5.40(88.81)	475(49.74)	2.25(40.11)
66-77	9.43	936.86(99.26)	8.0(94.12)	2396.0(97.80)	14.55(94.05)	109.56(38.73)	8.47(56.02)	5.74(94.41)	516(54.03)	2.48(44.21)
77-88	9.42	938.46(99.43)	8.5(100.00)	2350.5(95.94)	13.43(86.81)	119.52(42.25)	8.57(56.68)	5.76(94.74)	566(59.27)	2.72(48.48)
88-99	9.42	942.82(99.89)	8.0(100.00)	2407.0(98.24)	13.91(89.92)	127.49(45.07)	8.67(57.34)	5.91(97.20)	574(60.10)	2.87(51.16)
น้ำเข้าระบบ	9.40	943.82	8.5	2450.5	15.74	282.86	15.12	6.08	955	5.61

<u>หมายเหตุ</u> ตัวเลขใน ( ) แสดงร้อยละของมลสารในน้ำที่ออกจากระบบเทียบกับมลสารในน้ำเข้าระบบ

ตารางภาคผนวก ค5-9 สมบัติของน้ำที่เข้าและออกจากระบบดูดซับ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยอัตราน้ำล้นผิว 8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

เวลา (นาที)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก.แคลเซียม-คาร์บอเนต/ลิตร)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	ของแข็งละลายได้ (มก./ลิตร)	บีโอดี (มก./ลิตร)	ซีโอดี (มก./ลิตร)	เจลดาห์ลไนโตรเจน (มก./ลิตร)	แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ลิตร)	สี (หน่วยสี)	สารริดิวซ์โฟลินส์ฟีนอล (มก.ฟีนอล/ลิตร)
90-180	9.45	876.64(95.24)	8.0(69.57)	2129.0(86.99)	9.06(59.76)	21.52(7.55)	2.72(15.87)	1.40(23.37)	24(2.85)	0.15(3.31)
180-270	9.46	898.19(97.58)	8.0(69.57)	2215.0(90.50)	11.72(77.31)	23.47(8.23)	3.37(19.66)	1.94(32.39)	30(3.57)	0.16(3.53)
270-360	9.46	900.97(97.88)	9.0(78.26)	2239.0(91.48)	11.25(74.21)	33.25(11.66)	3.83(22.34)	2.60(43.41)	37(4.40)	0.18(3.97)
360-450	9.48	910.32(98.90)	9.0(78.26)	2228.0(91.03)	11.25(74.21)	35.21(12.35)	3.93(22.93)	2.77(46.24)	37(4.40)	0.20(4.42)
450-540	9.45	915.33(99.44)	11.0(95.65)	2225.0(90.91)	11.41(75.26)	37.16(13.03)	4.13(24.10)	2.85(47.58)	41(4.88)	0.22(4.86)
540-630	9.46	914.50(99.35)	8.0(69.57)	2232.0(91.20)	12.19(80.41)	46.94(16.46)	4.23(24.68)	3.09(51.59)	51(6.06)	0.26(5.74)
630-720	9.46	911.16(98.99)	11.0(95.65)	2237.0(91.40)	11.72(77.31)	52.81(18.52)	4.33(25.26)	3.65(60.93)	82(9.75)	0.43(9.49)
720-810	9.46	912.47(99.13)	9.0(78.26)	2273.0(92.87)	12.19(80.41)	52.81(18.52)	5.34(31.16)	4.24(70.78)	131(15.58)	0.71(15.67)
810-900	9.48	914.00(99.30)	10.0(86.96)	2256.0(92.18)	10.78(71.11)	54.77(19.21)	9.17(53.50)	5.24(87.48)	179(21.28)	0.89(19.65)
900-1000	9.47	918.37(99.77)	9.5(82.61)	2265.5(92.56)	11.41(75.26)	62.59(21.95)	9.88(57.64)	5.45(90.98)	196(23.31)	1.07(23.62)
1000-1100	9.48	919.15(99.86)	10.0(86.96)	2312.0(94.46)	11.72(77.31)	72.37(25.38)	9.98(58.23)	5.60(93.49)	225(26.75)	1.17(25.83)
น้ำเข้าระบบ	9.48	920.47	11.5	2447.5	15.16	285.11	17.14	5.99	841	4.53

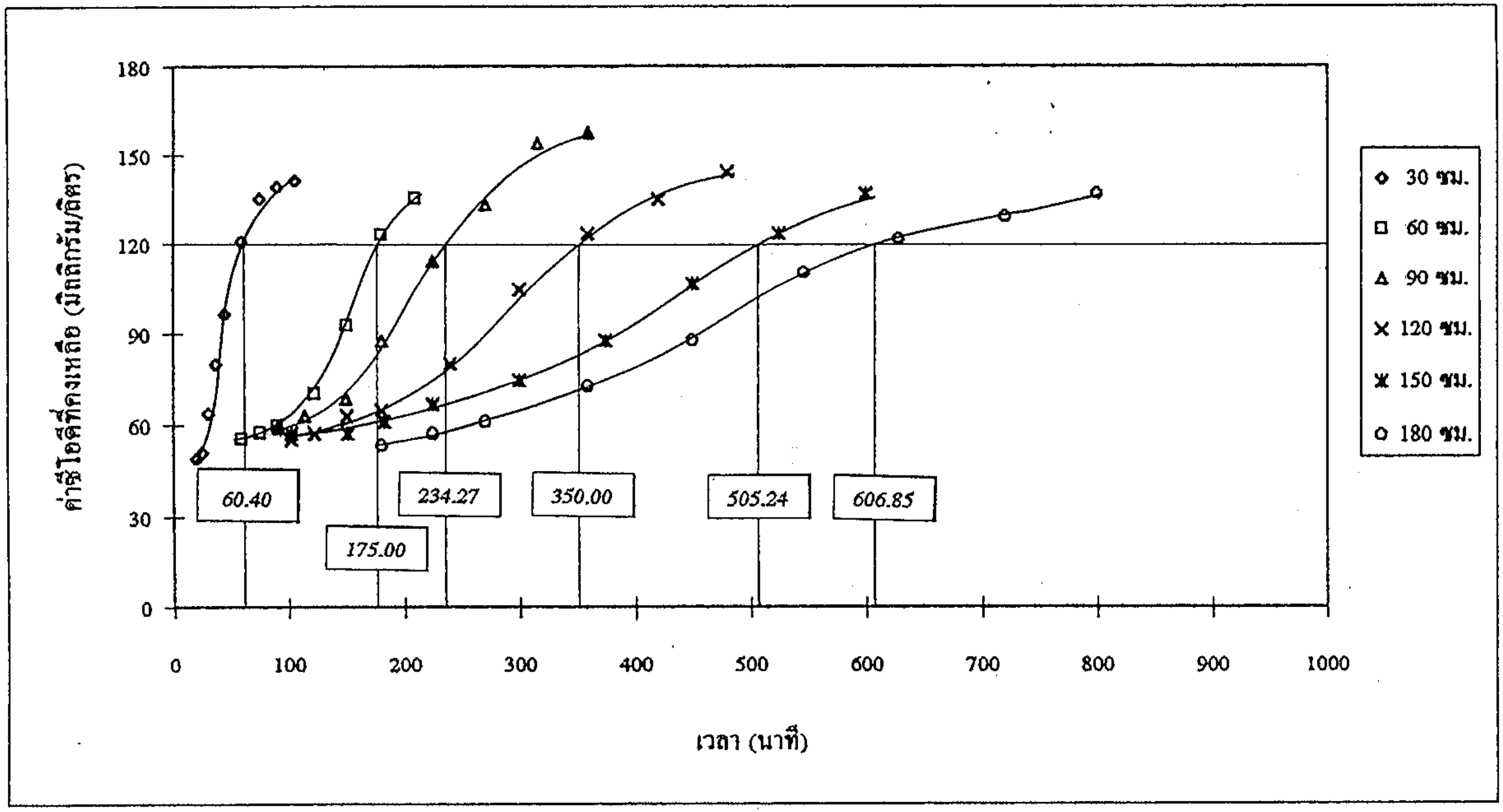
หมายเหตุ ตัวเลขใน ( ) แสดงร้อยละของมลสารในน้ำที่ออกจากระบบเทียบกับมลสารในน้ำเข้าระบบ

ตารางภาคผนวก ค6 ซีโอดีและค่าสีที่คงเหลือ ณ ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน และถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ผ่านการฟื้นสภาพ

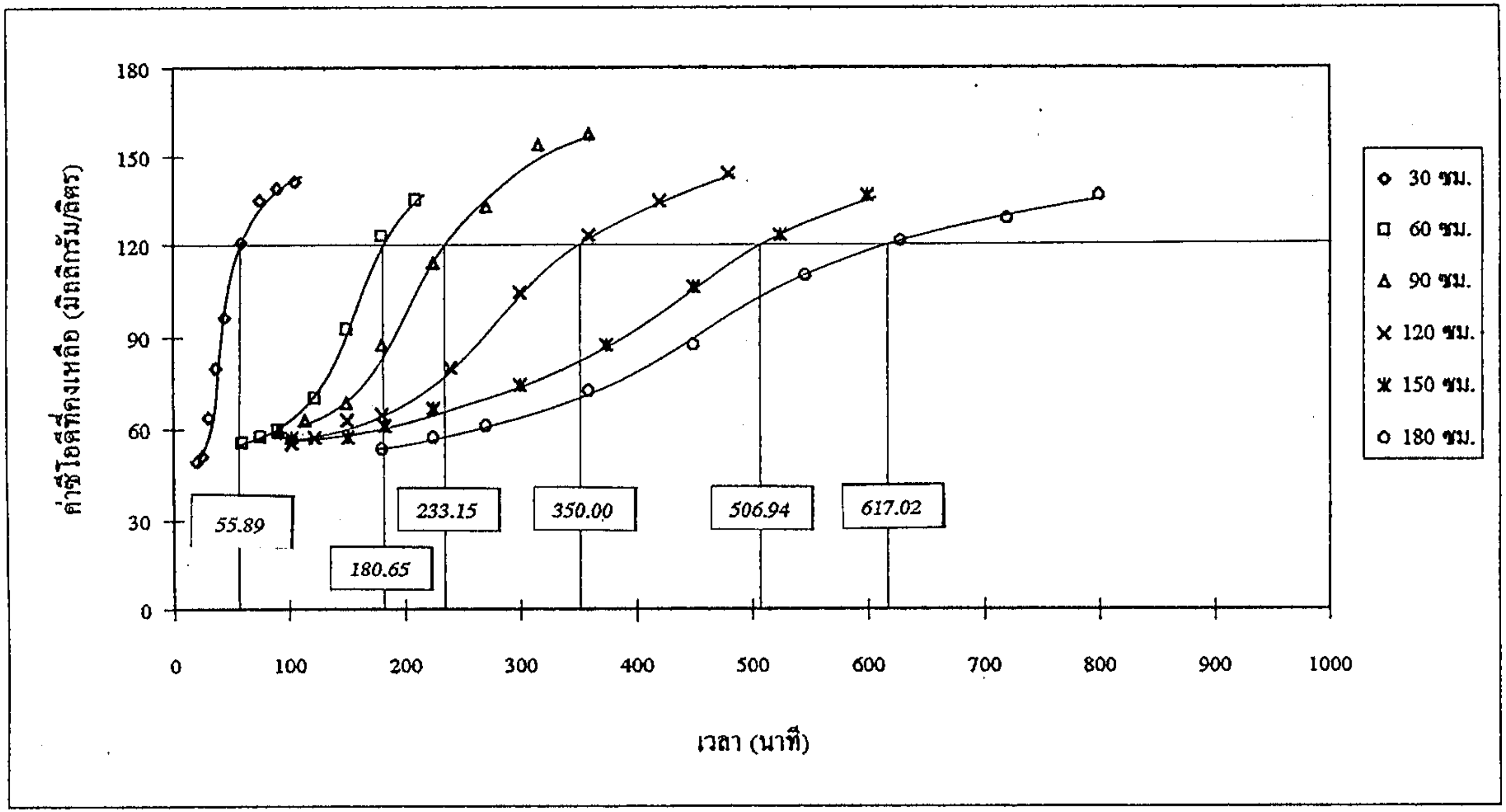
		ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)									
เวลา	ถ่านกัมมันต์ใหม่	ถ่านกัมมันต์เผาซ้ำ									
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
25.-50	71.14	51.58	49.40	39.60	33.52	42.94	39.04	42.94	39.20	37.16	35.21
50-75	77.06	57.54	57.30	55.44	53.24	54.66	54.66	54.66	49.00	50.86	46.94
75-100	92.87	63.49	63.23	63.36	57.19	54.66	58.56	54.66	54.88	54.77	50.81
100-125	104.73	73.41	67.18	71.28	61.13	62.46	58.56	58.56	60.76	50.86	56.72
125-150	112.63	77.38	69.16	73.26	65.08	62.46	58.56	62.46	60.76	62.59	60.63
น้ำเข้าระบบ	322.09	327.36	322.09	326.70	317.49	320.13	322.08	320.13	327.32	316.87	320.78
		ค่าสี (หน่วยสี)									
เวลา	ถ่านกัมมันต์ใหม่	ถ่านกัมมันต์เผาซ้ำ									
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
25.-50	50	50	50	47	33	37	47	43	40	40	37
50-75	60	53	53	53	43	47	47	50	43	43	40
75-100	103	57	63	60	47	50	50	50	47	43	40
100-125	200	73	70	67	53	57	53	53	50	47	47
125-150	303	120	73	80	57	63	67	53	57	53	53
น้ำเข้าระบบ	1073	1063	1087	1063	1070	1060	1070	1077	1063	1067	1073

ภาคผนวก ง

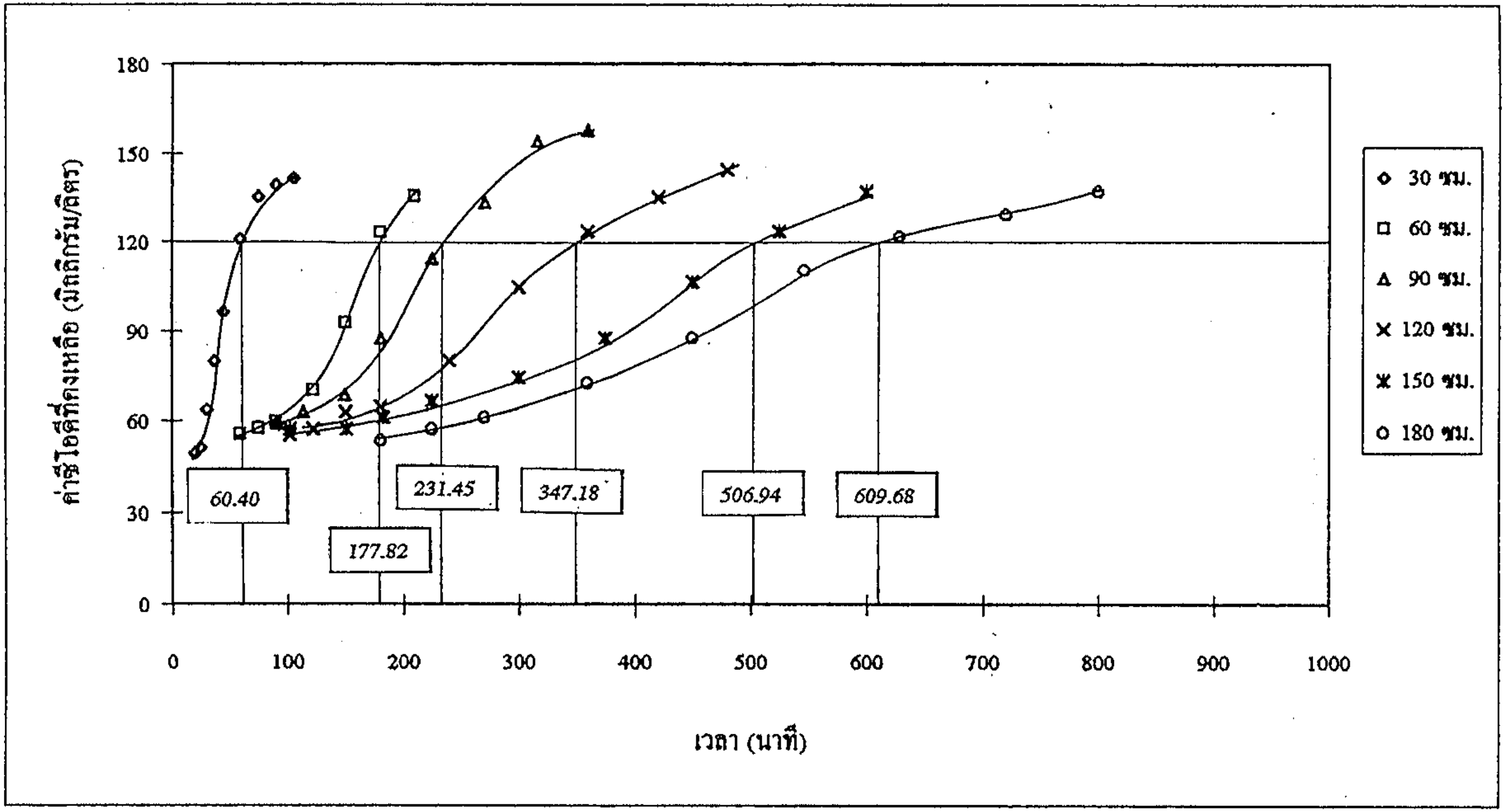
กราฟความสัมพันธ์



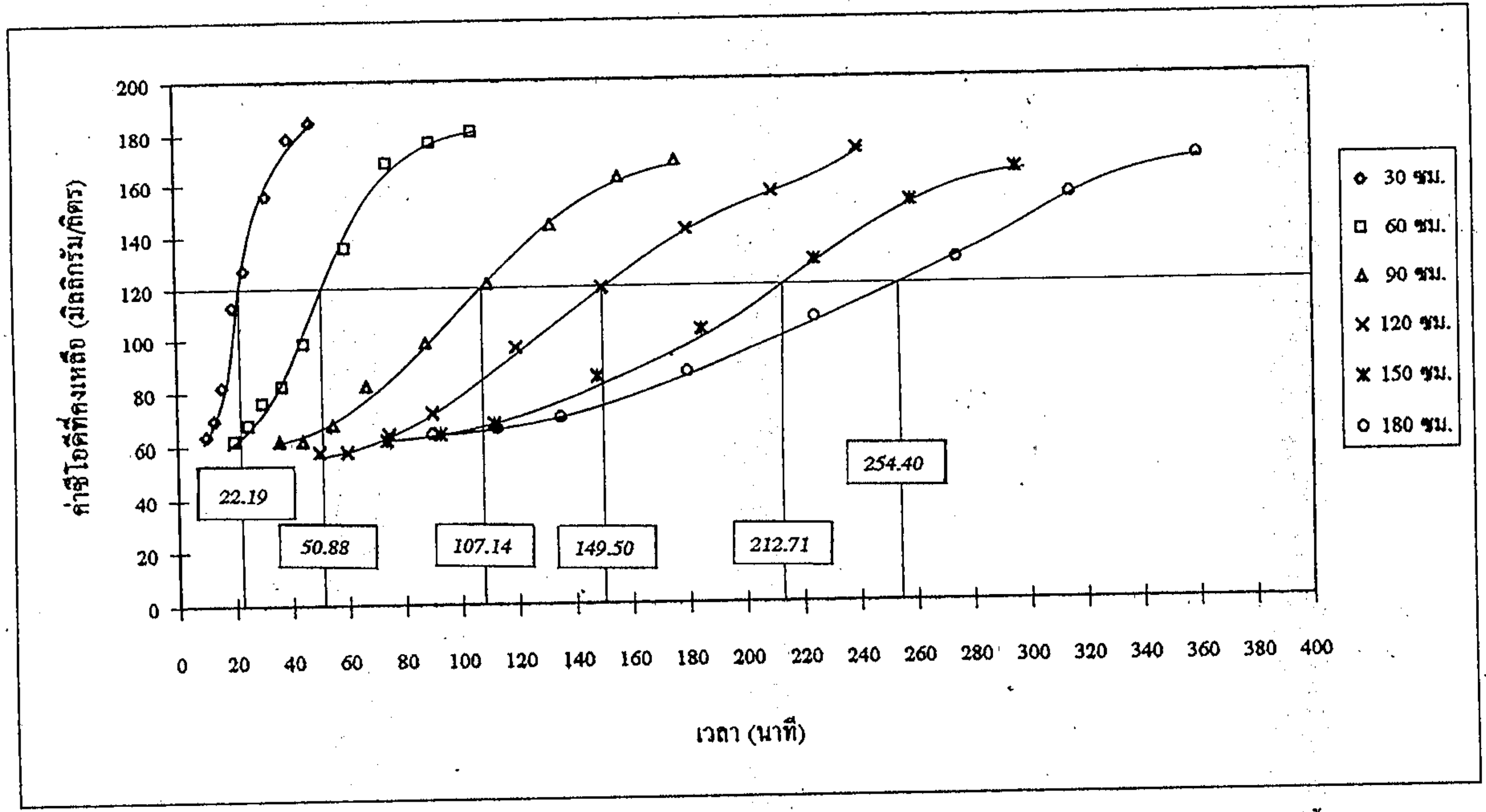
ภาพประกอบภาคผนวก ง1-1-1 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 1)



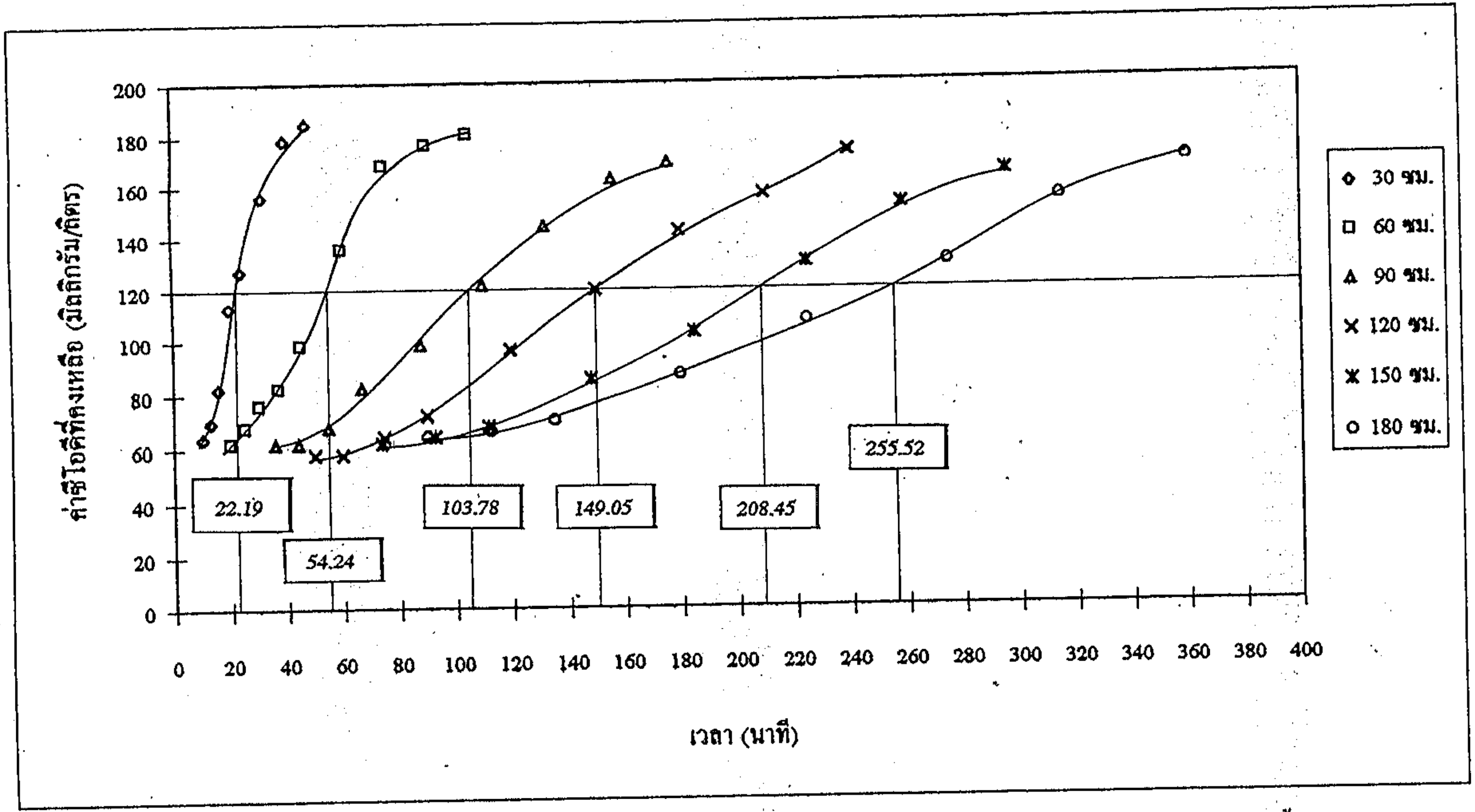
ภาพประกอบภาคผนวก ง1-1-2 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 2)



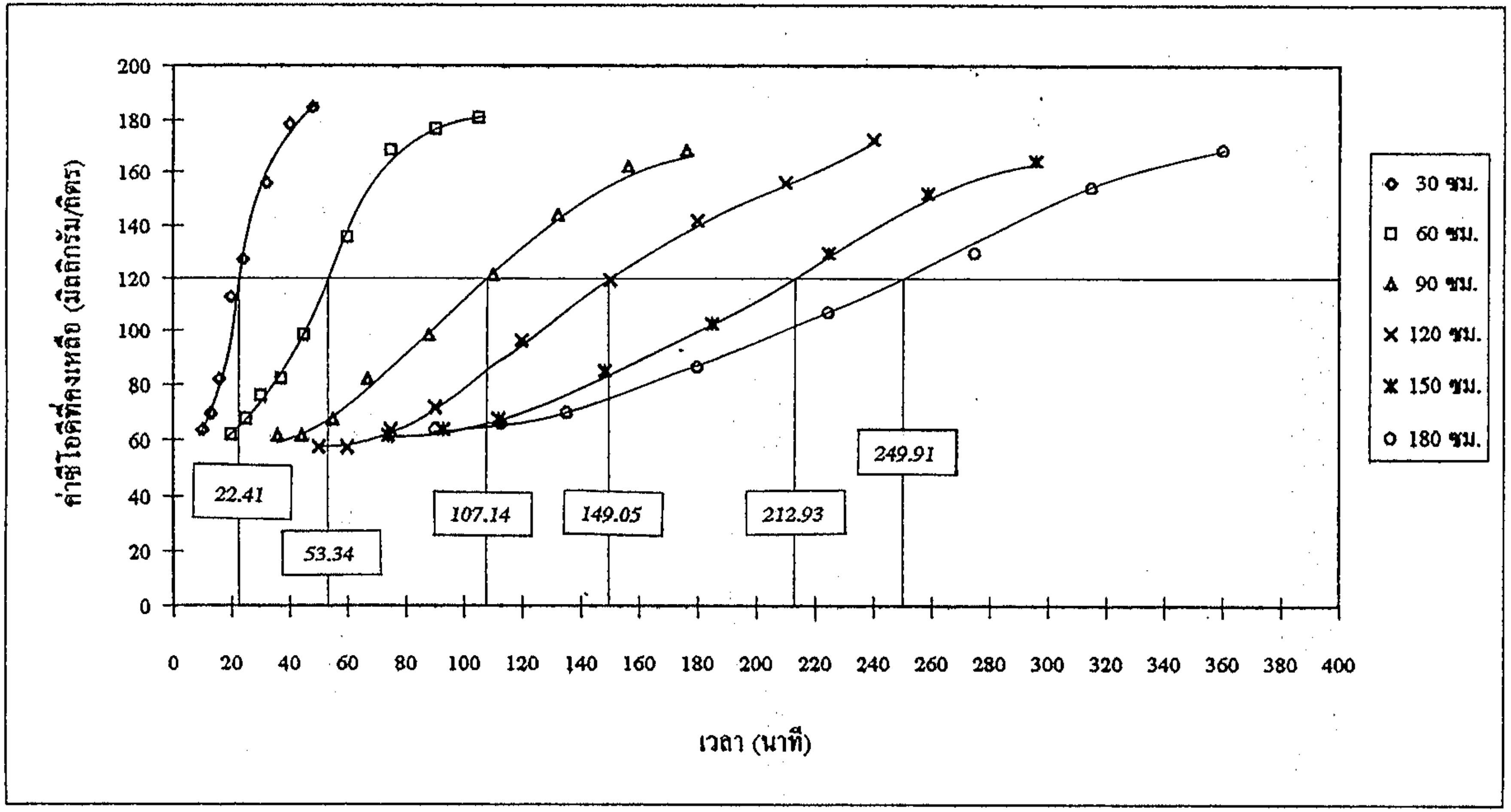
ภาพประกอบภาคผนวก ง1-1-3 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 3)



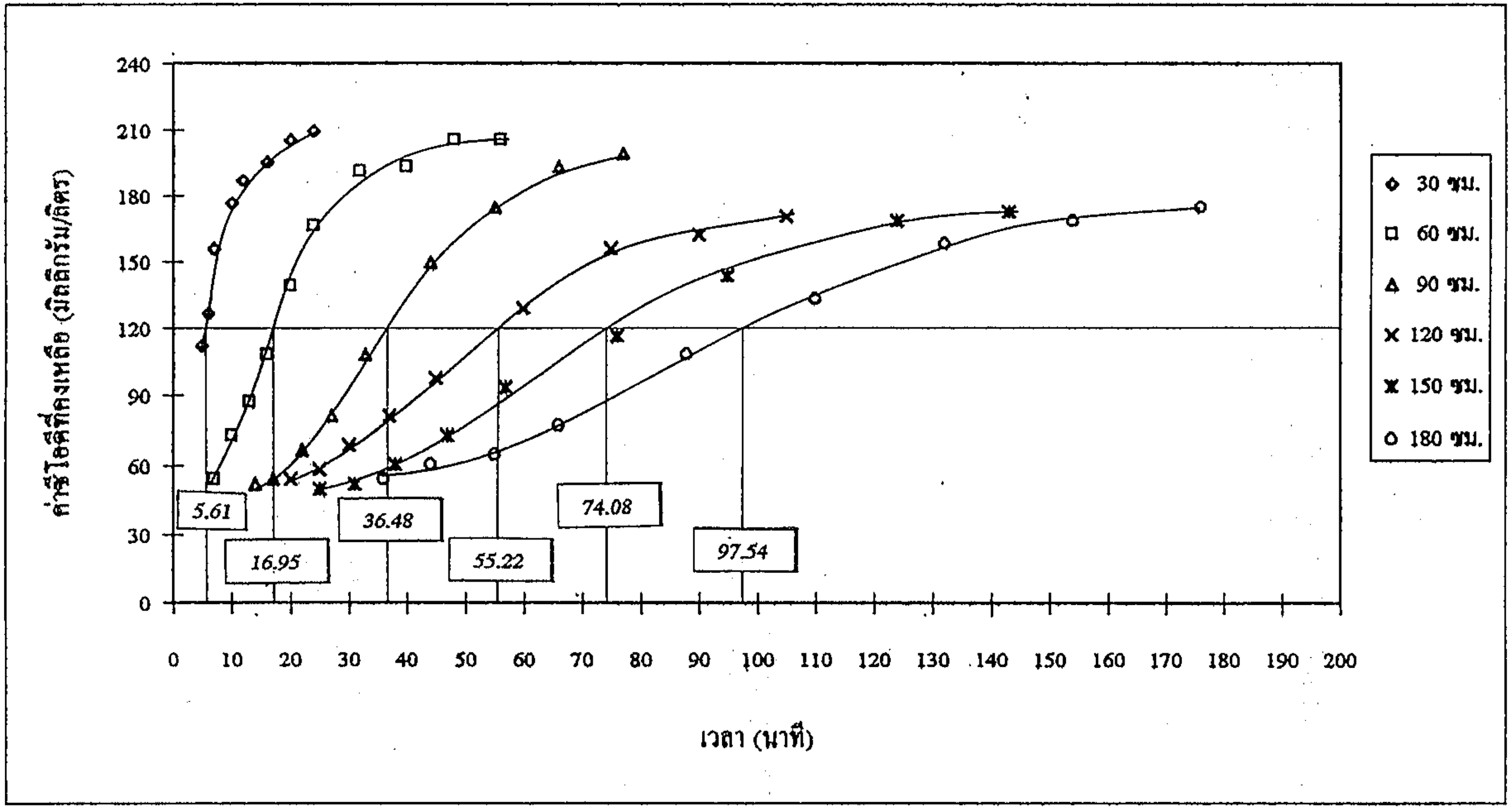
ภาพประกอบภาคผนวก ง1-2-1 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 1)



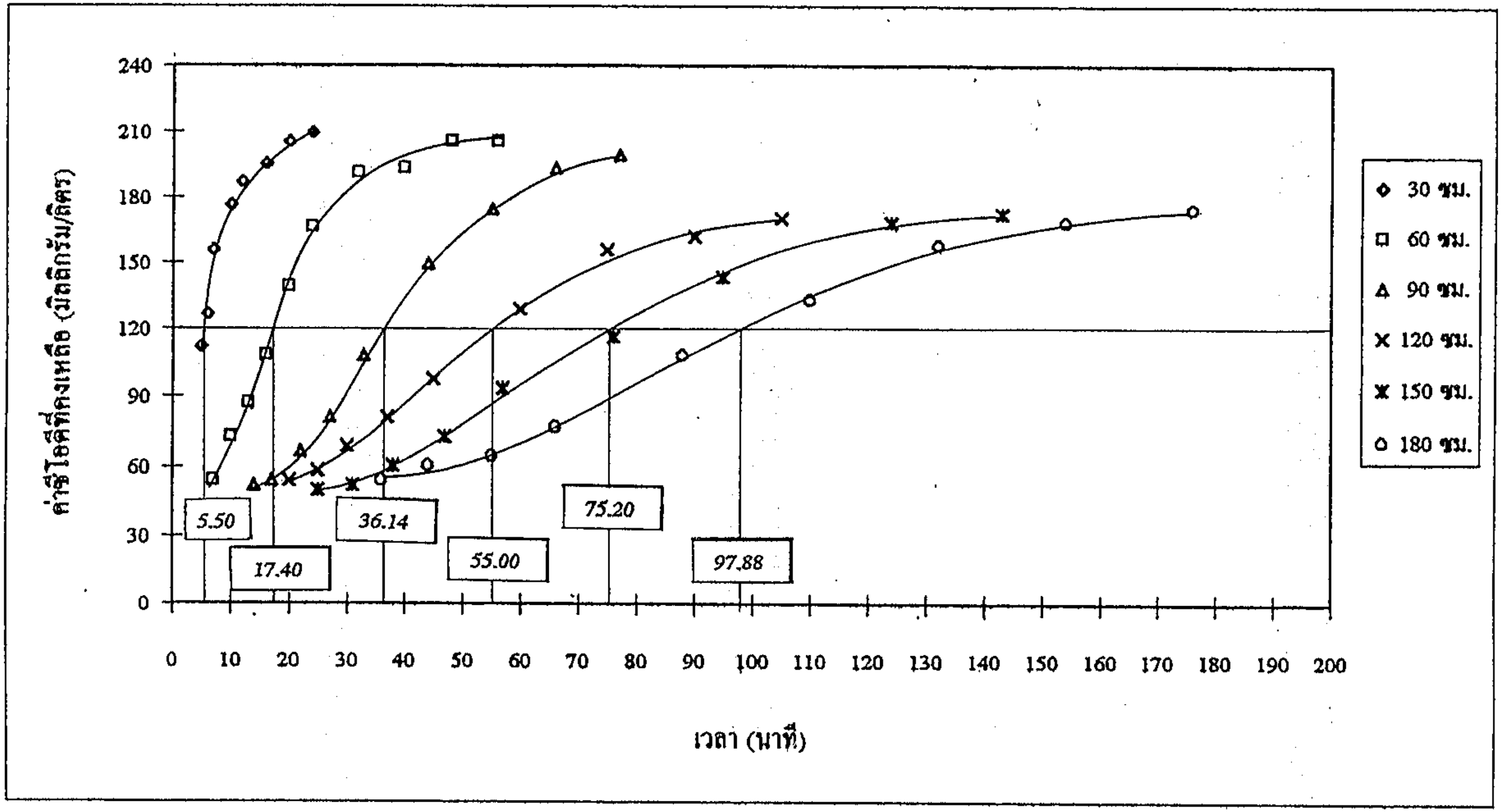
ภาพประกอบภาคผนวก ง1-2-2 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 2)



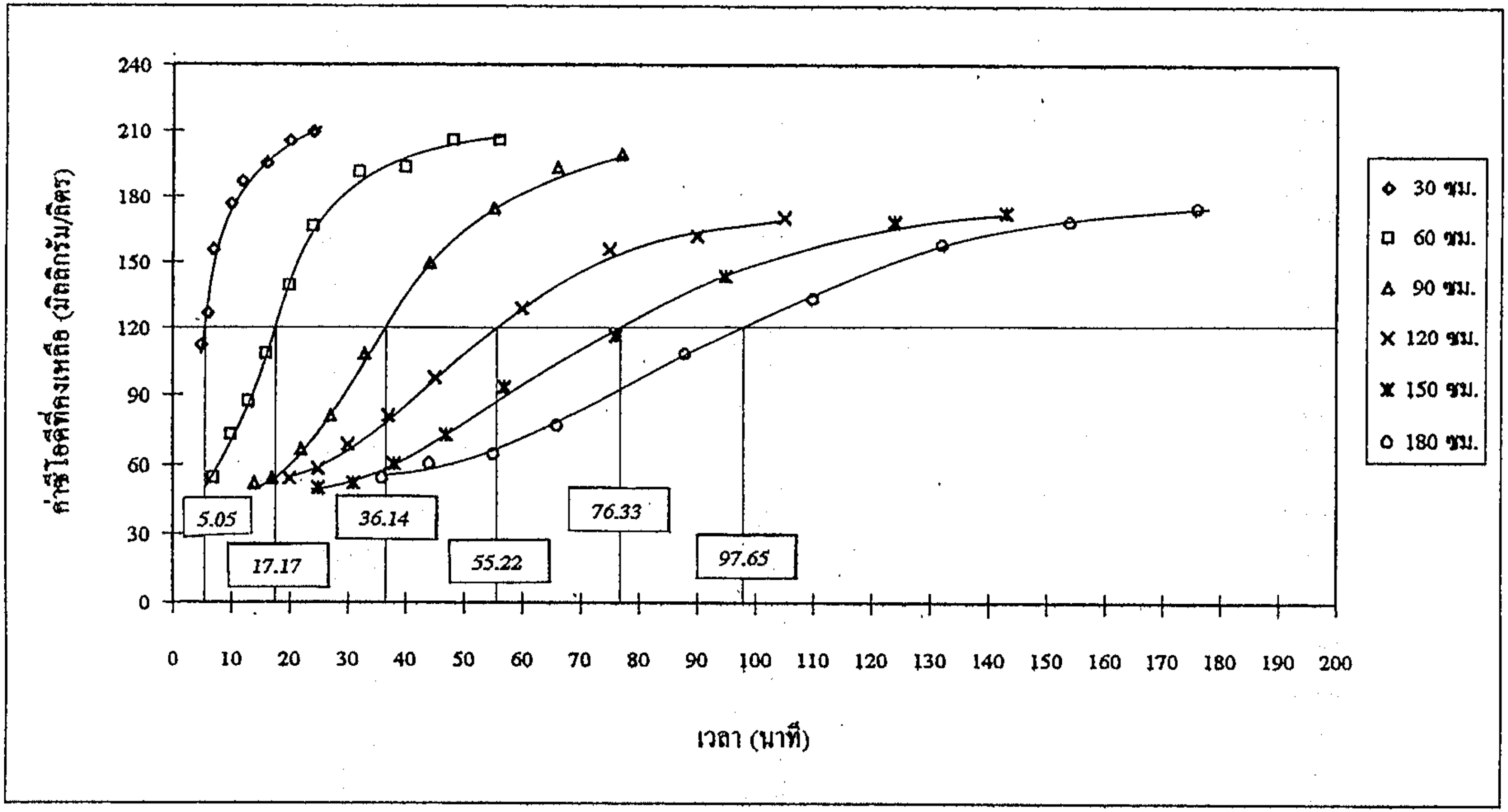
ภาพประกอบภาคผนวก ง1-2-3 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 3)



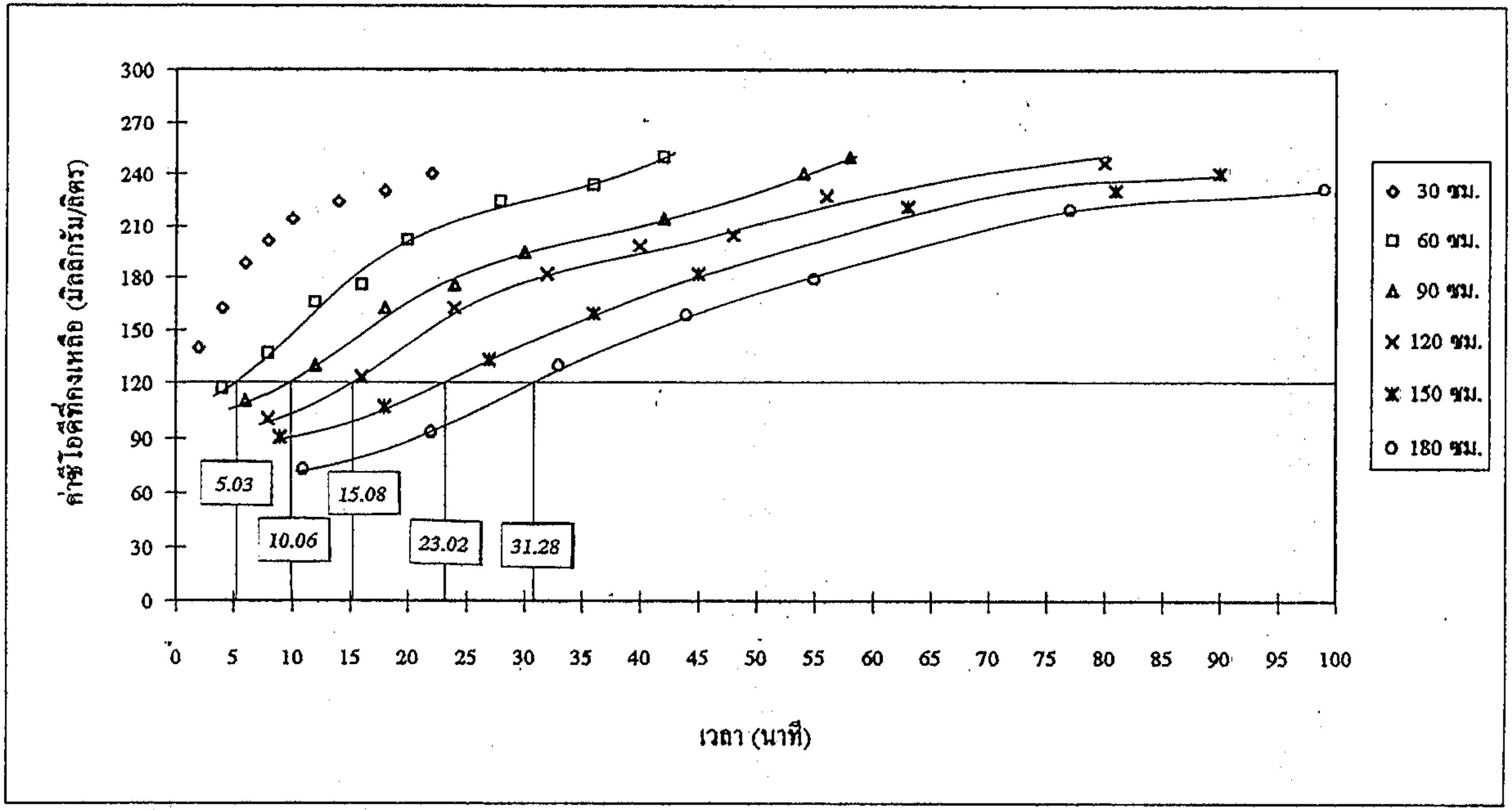
ภาพประกอบภาคผนวก ง1-3-1 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 1)



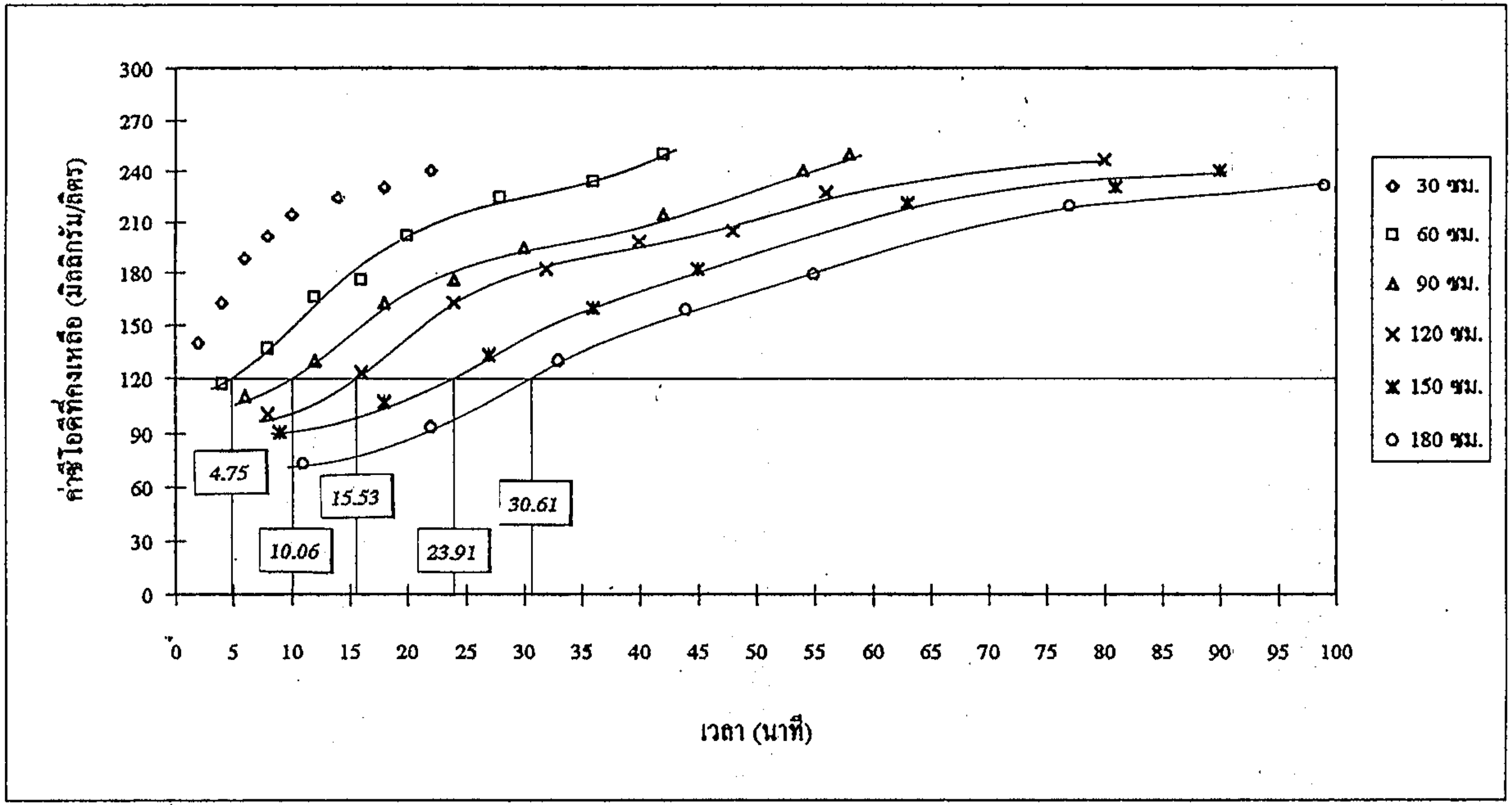
ภาพประกอบภาคผนวก ง1-3-2 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 2)



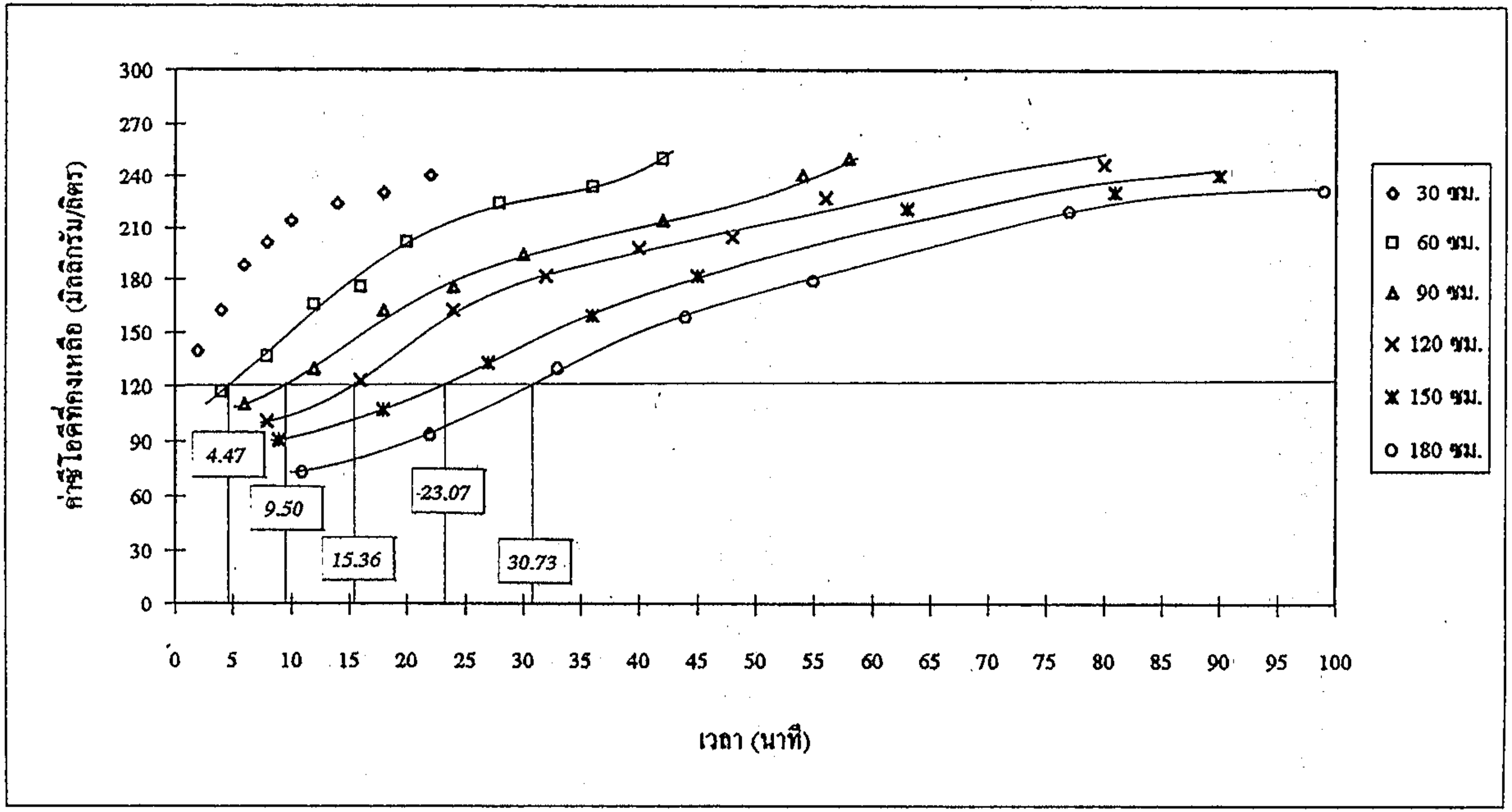
ภาพประกอบภาคผนวก ง1-3-3 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 3)



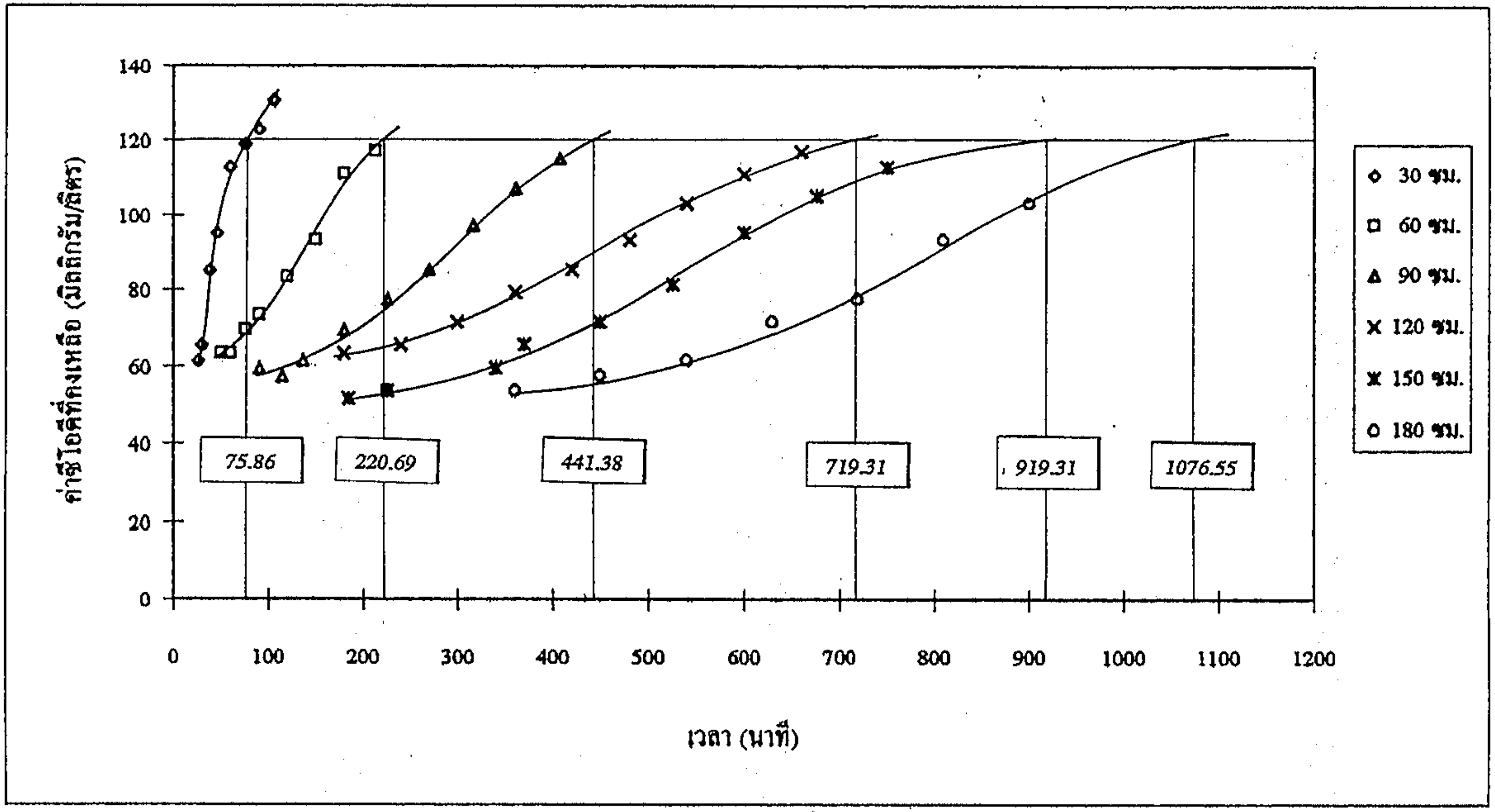
ภาพประกอบภาคผนวก ง1-4-1 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 1)



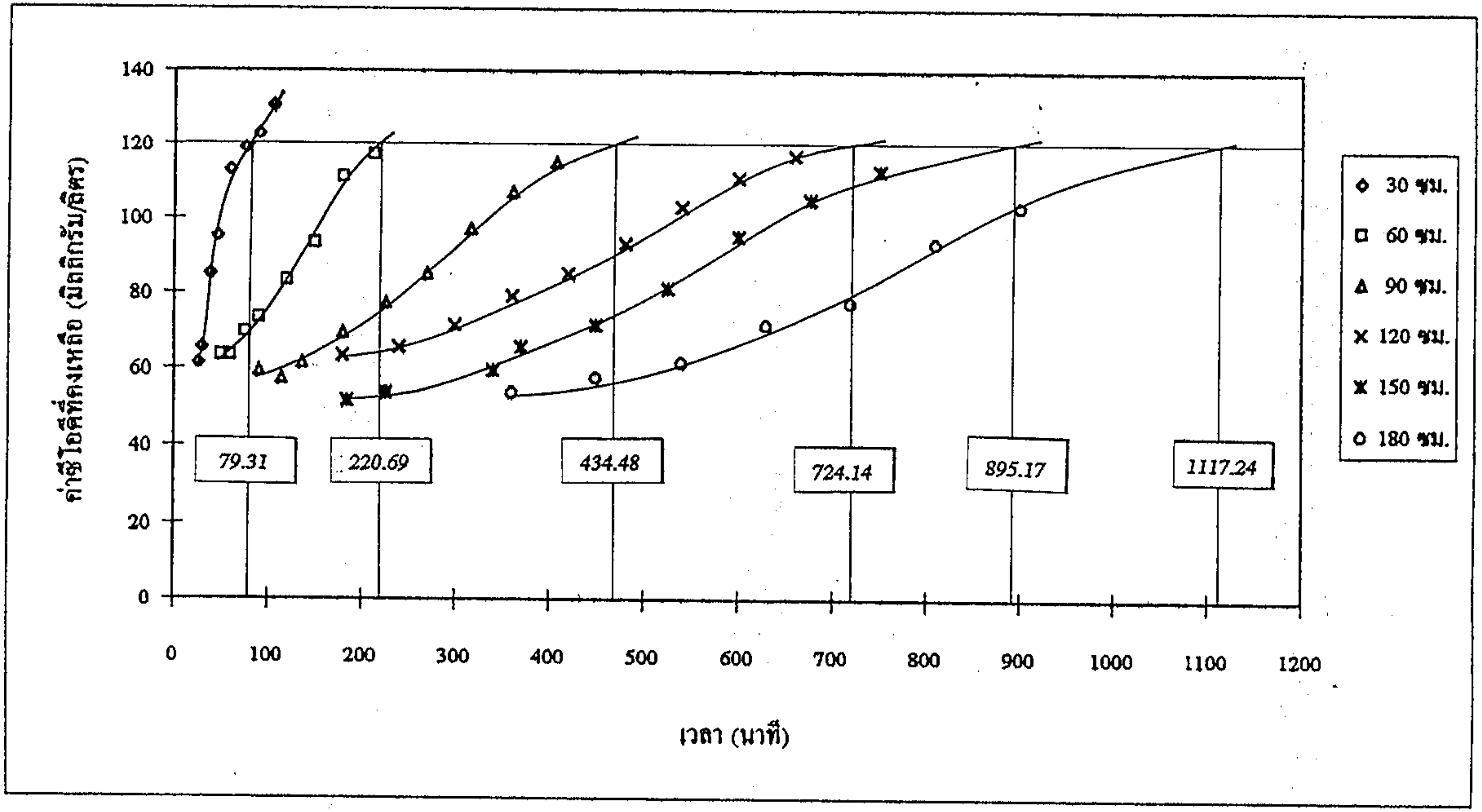
ภาพประกอบภาคผนวก ง1-4-2 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 2)



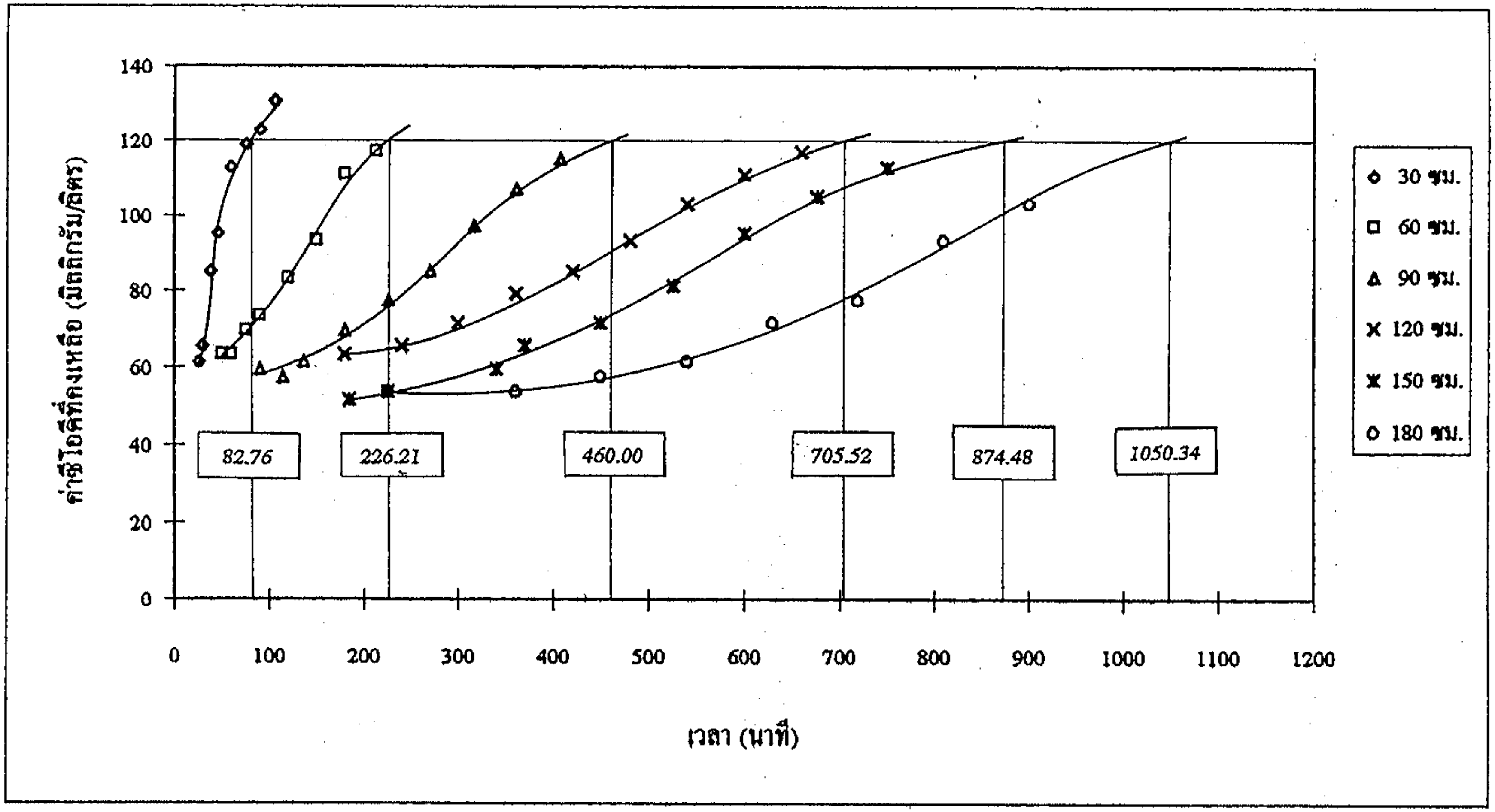
ภาพประกอบภาคผนวก ง1-4-3 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 3)



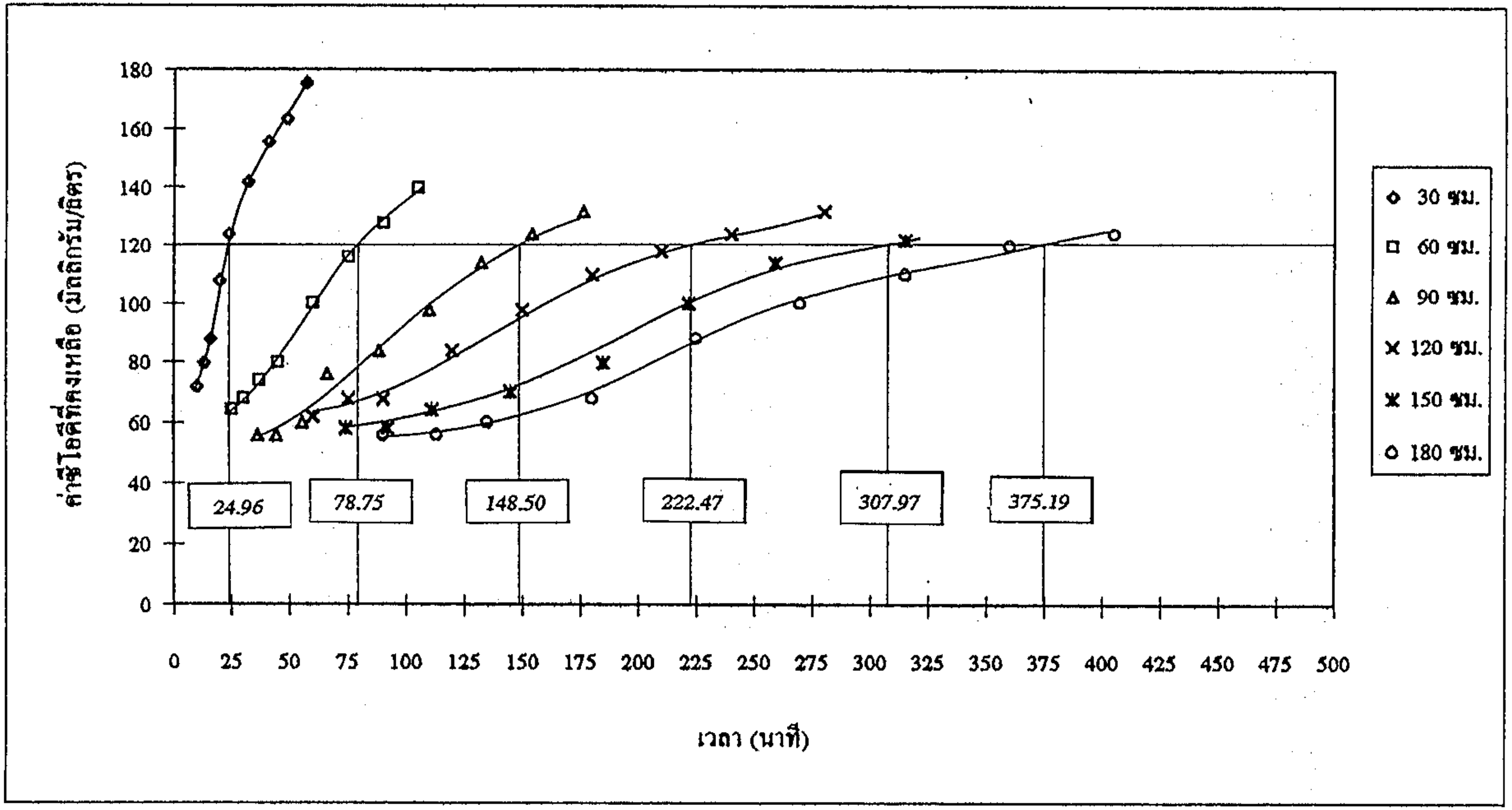
ภาพประกอบภาคผนวก ง2-1-1 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 1)



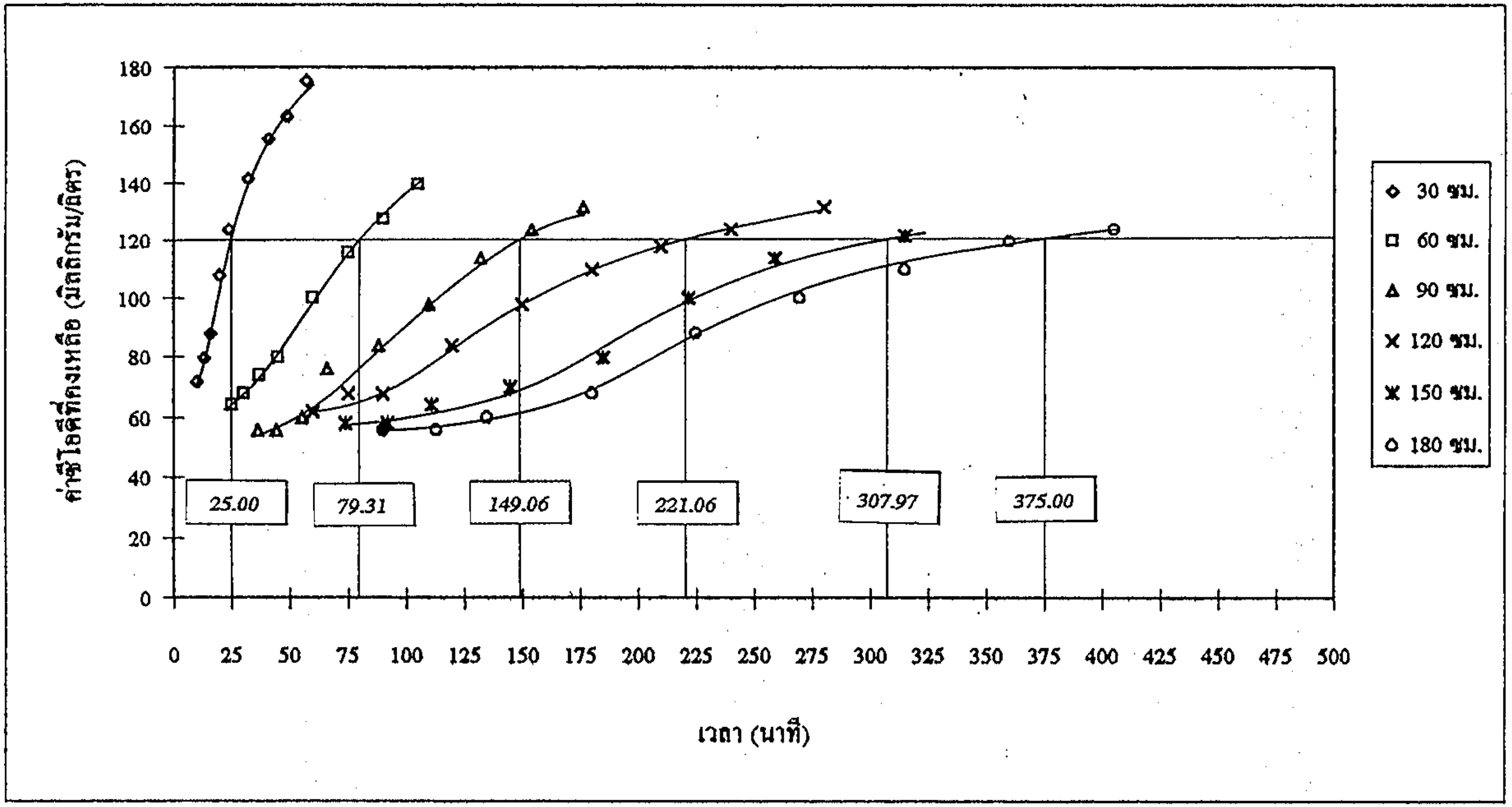
ภาพประกอบภาคผนวก ง2-1-2 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 2)



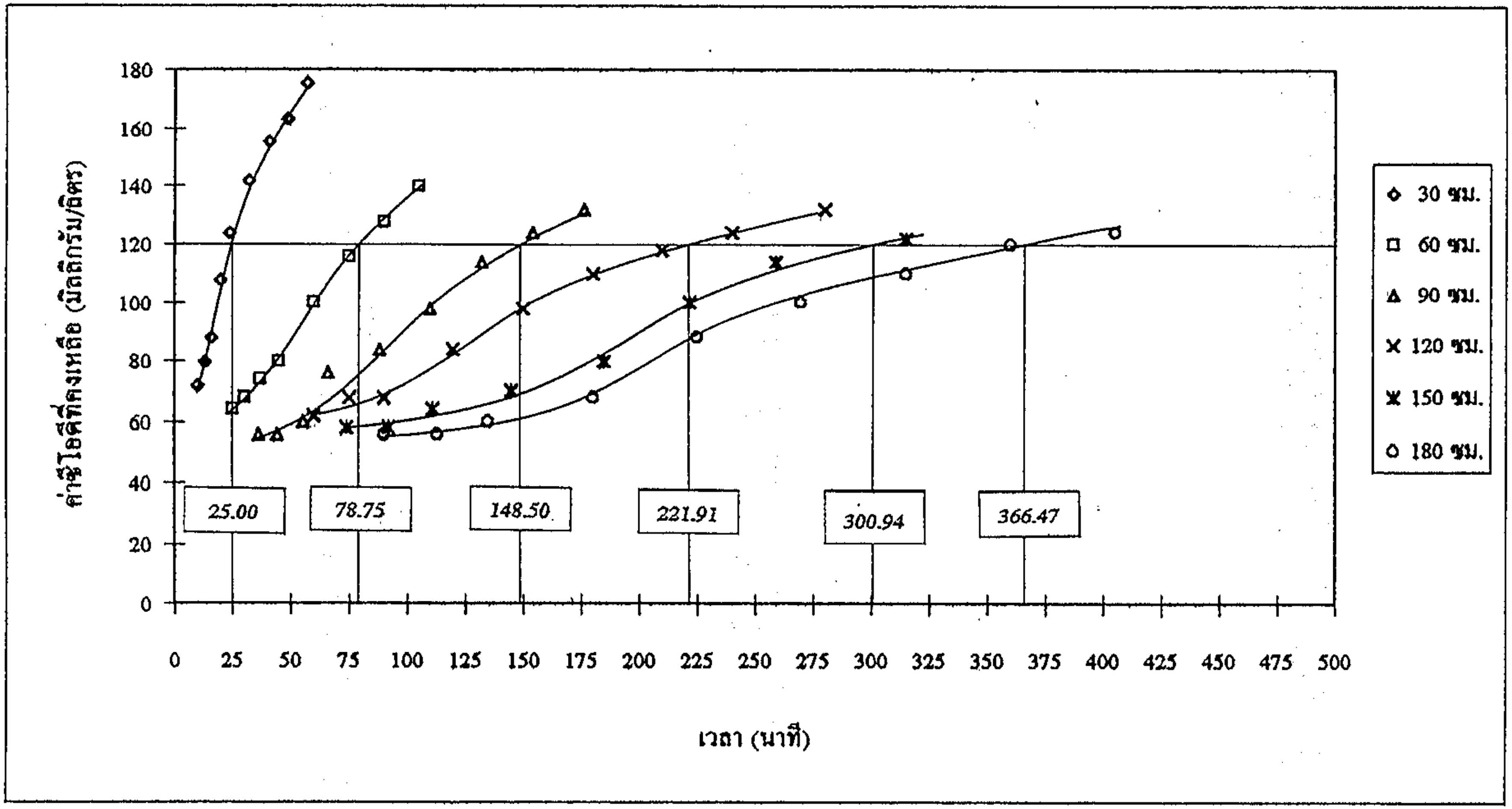
ภาพประกอบภาคผนวก ง2-1-3 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 3)



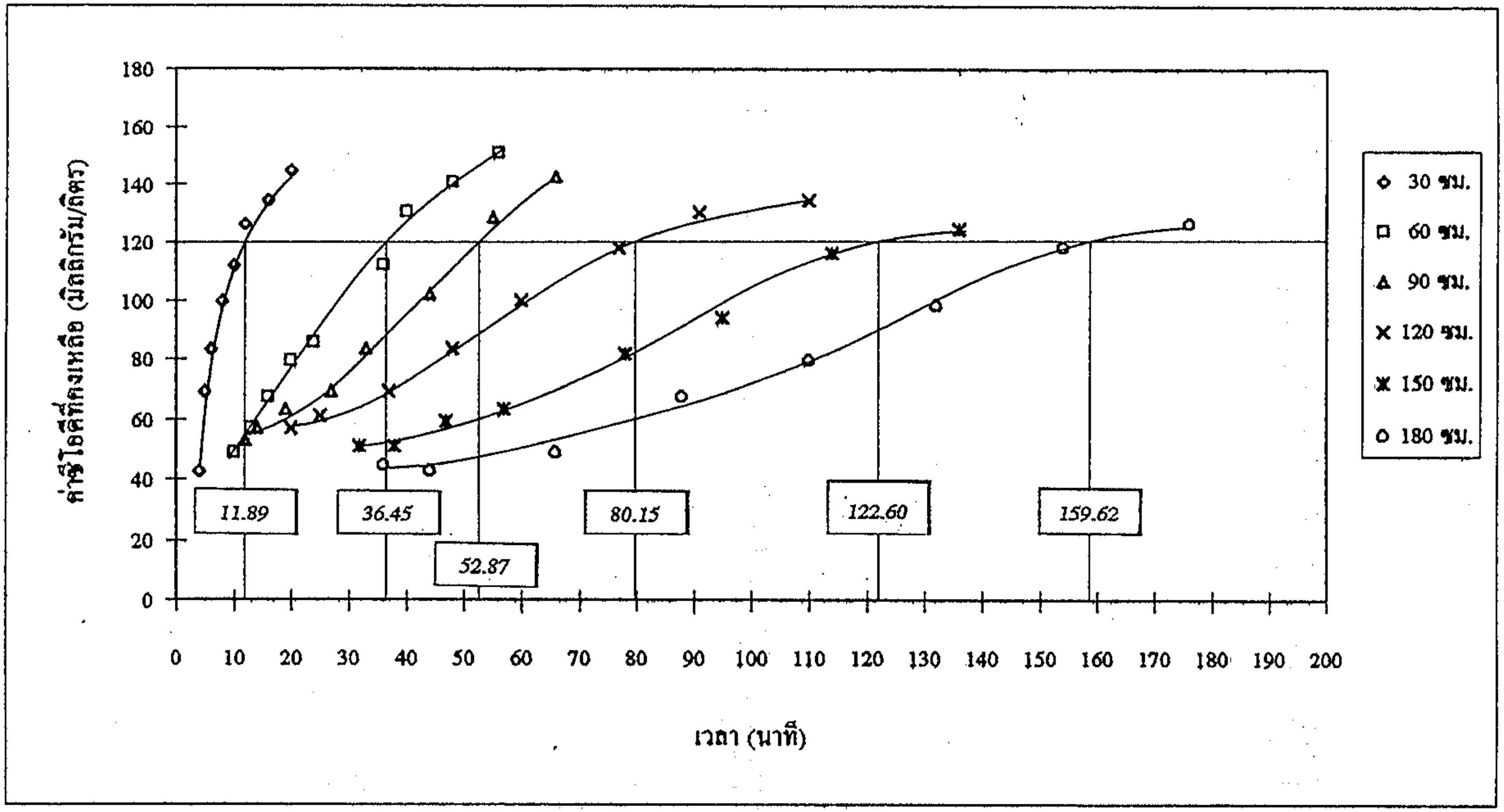
ภาพประกอบภาคผนวก ง2-2-1 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 1)



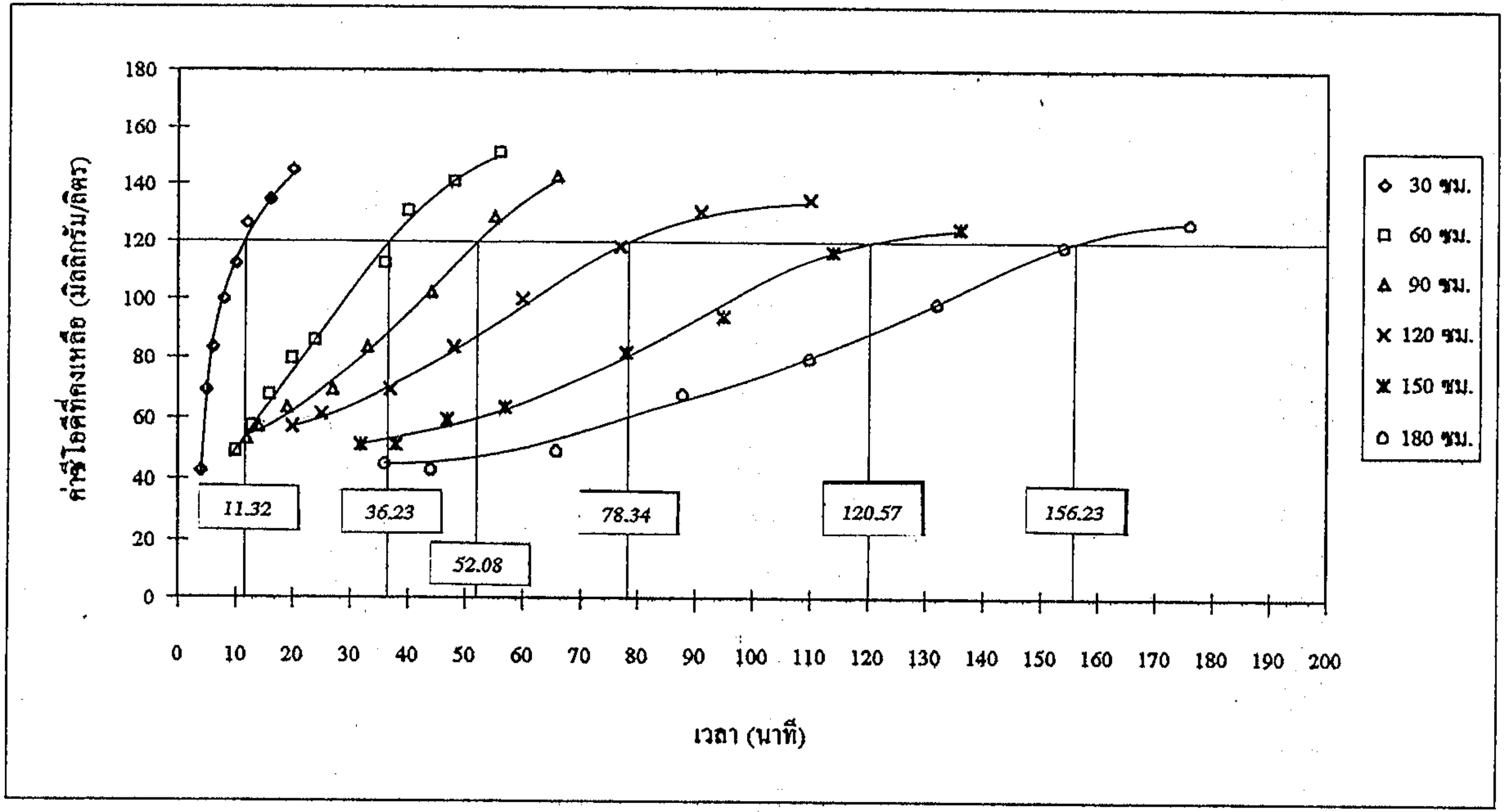
ภาพประกอบภาคผนวก ง2-2-2 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ (E) ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 2)



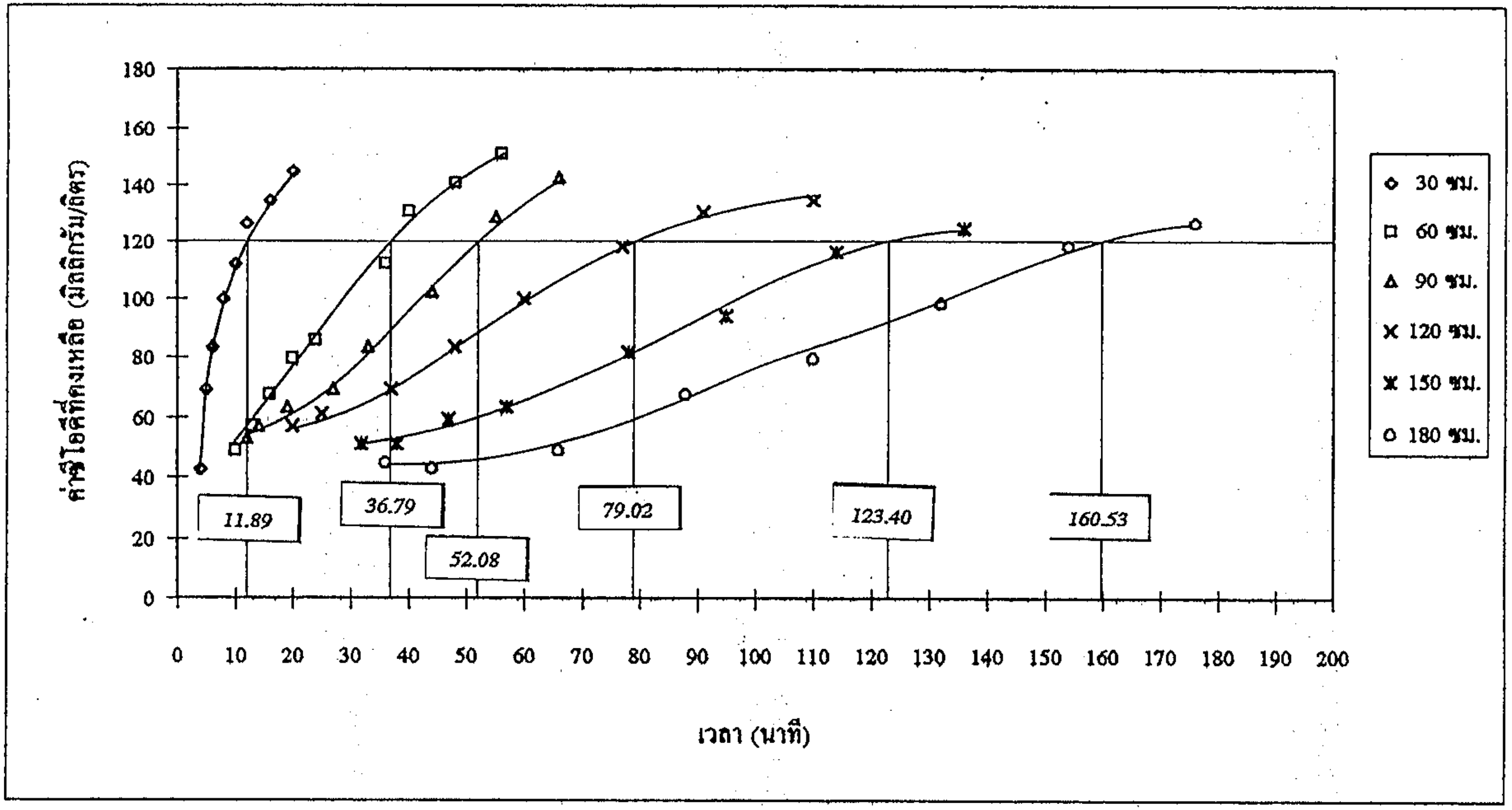
ภาพประกอบภาคผนวก ง2-2-3 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 4 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 3)



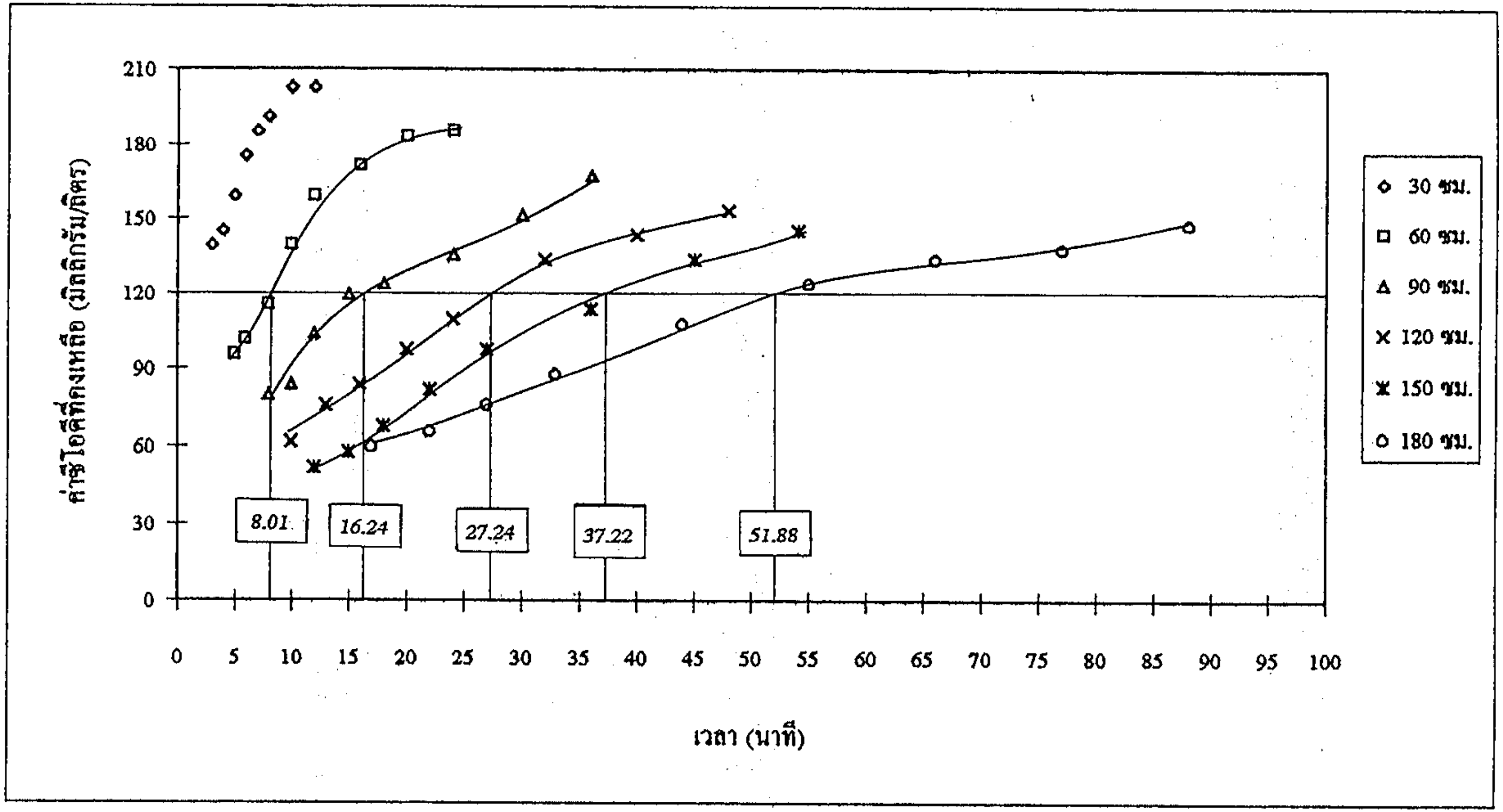
ภาพประกอบภาคผนวก ง2-3-1 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 1)



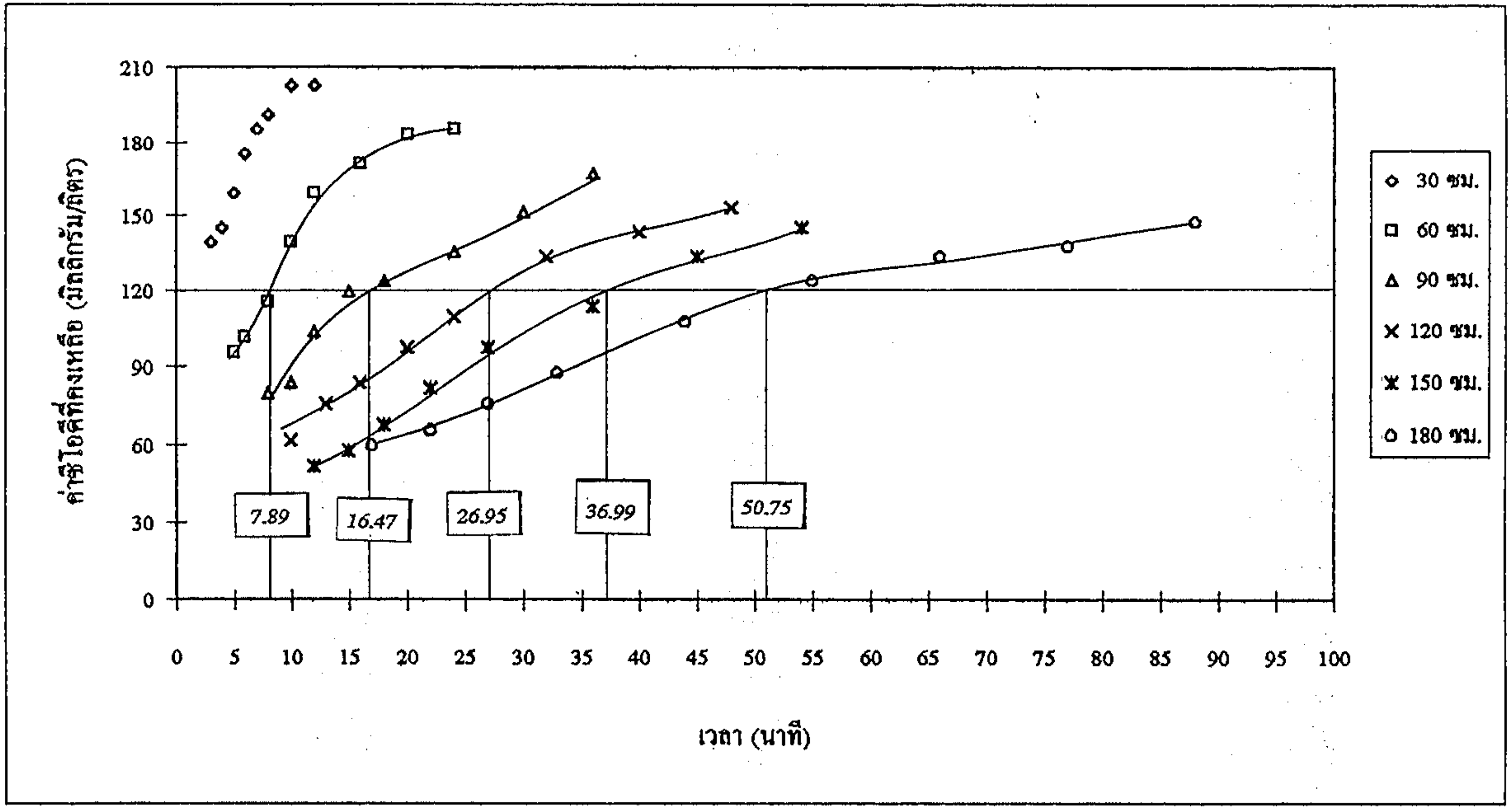
ภาพประกอบภาคผนวก ง2-3-2 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 2)



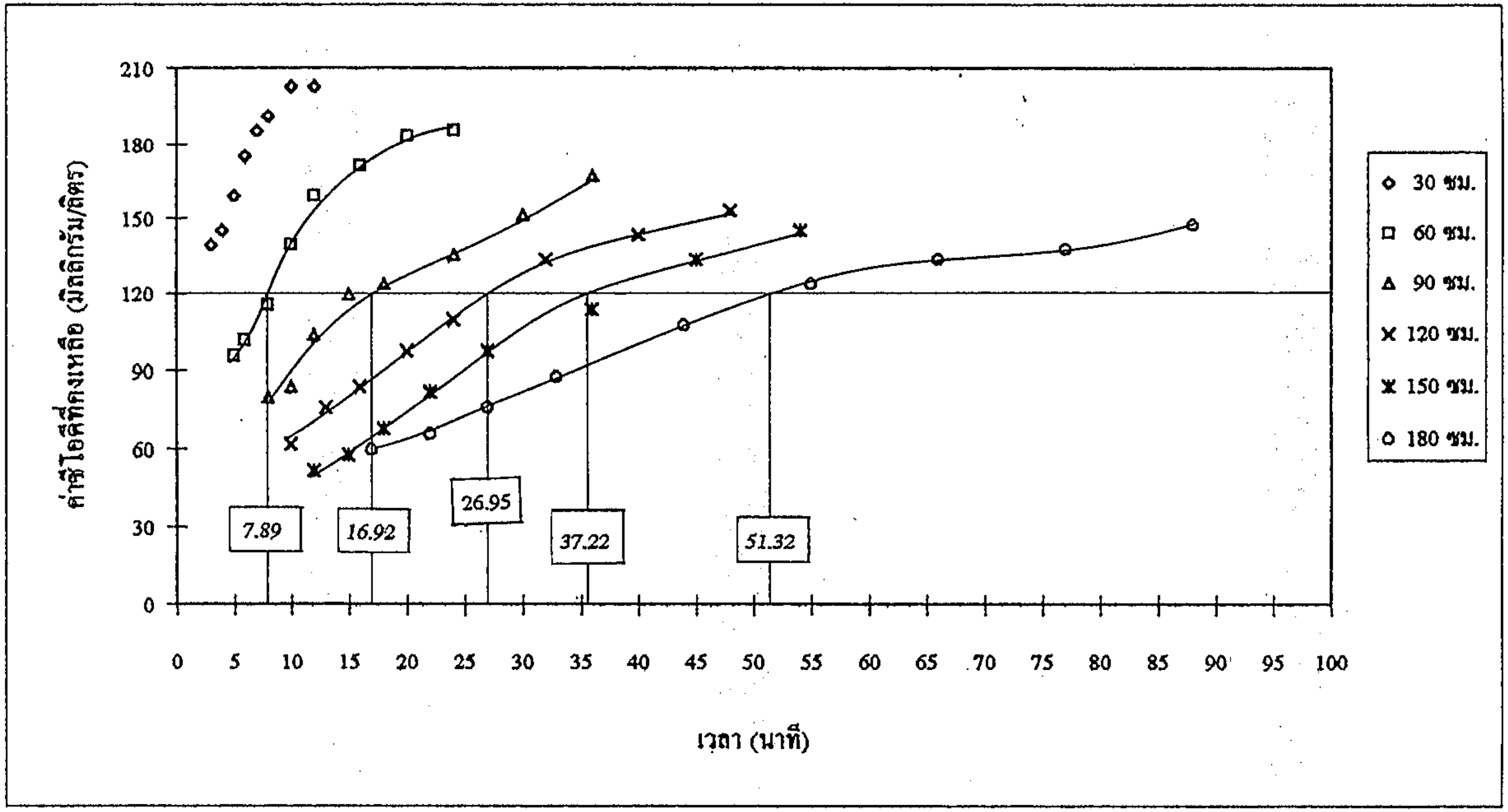
ภาพประกอบภาคผนวก ง2-3-3 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 8 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 3)



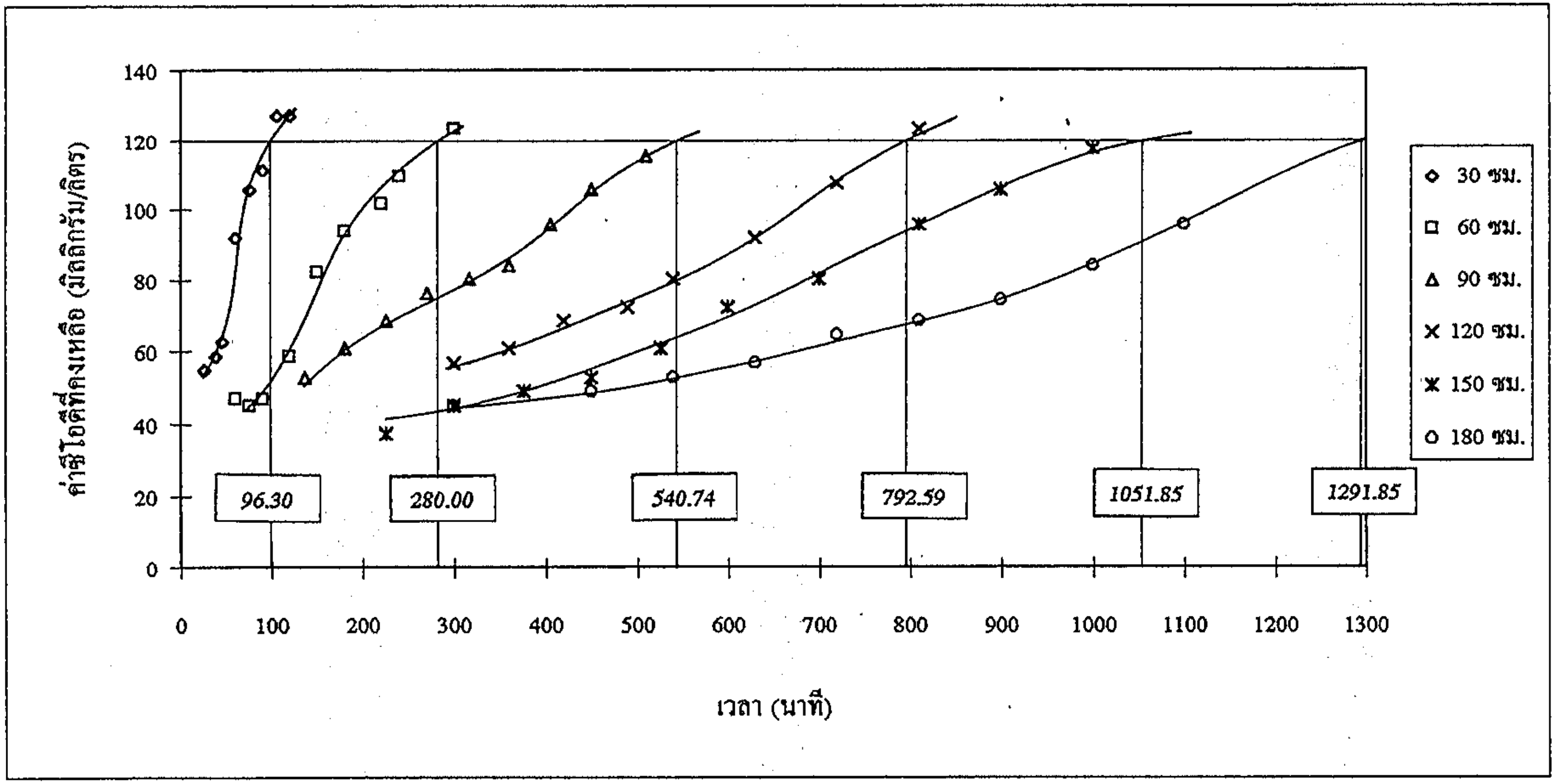
ภาพประกอบภาคผนวก ง2-4-1 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 1)



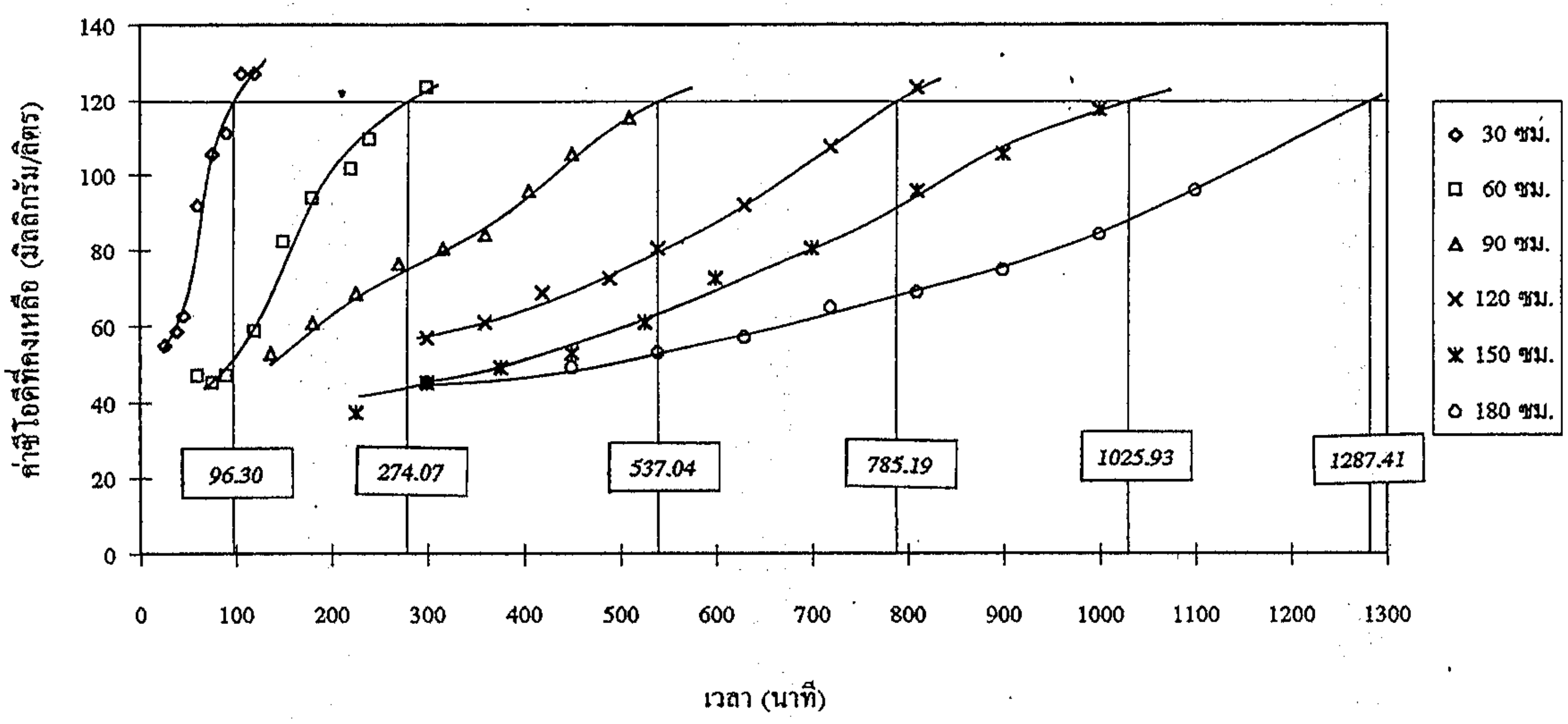
ภาพประกอบภาคผนวก ง2-4-2 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 2)



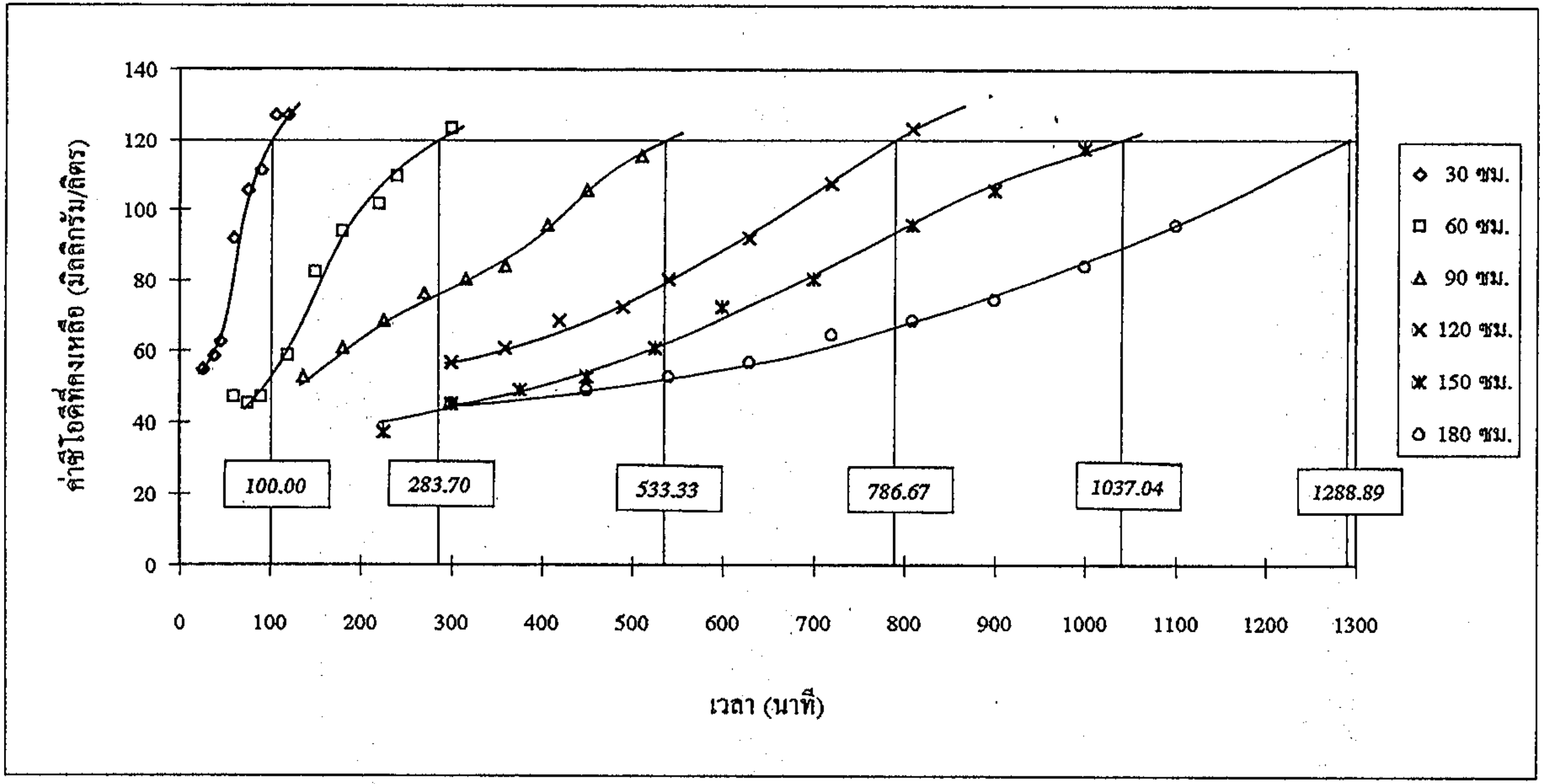
ภาพประกอบภาคผนวก ง2-4-3 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 16 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 3)



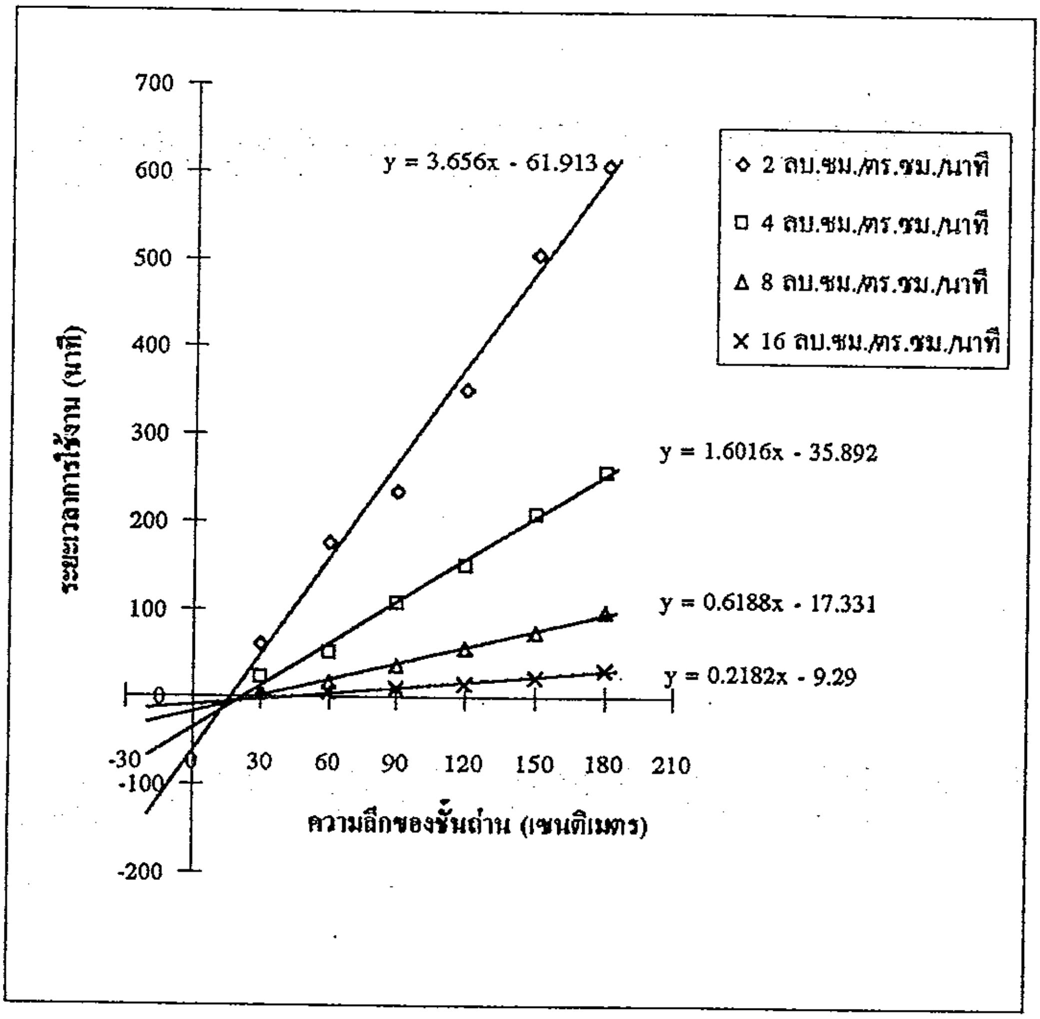
ภาพประกอบภาคผนวก ง3-1-1 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 1)



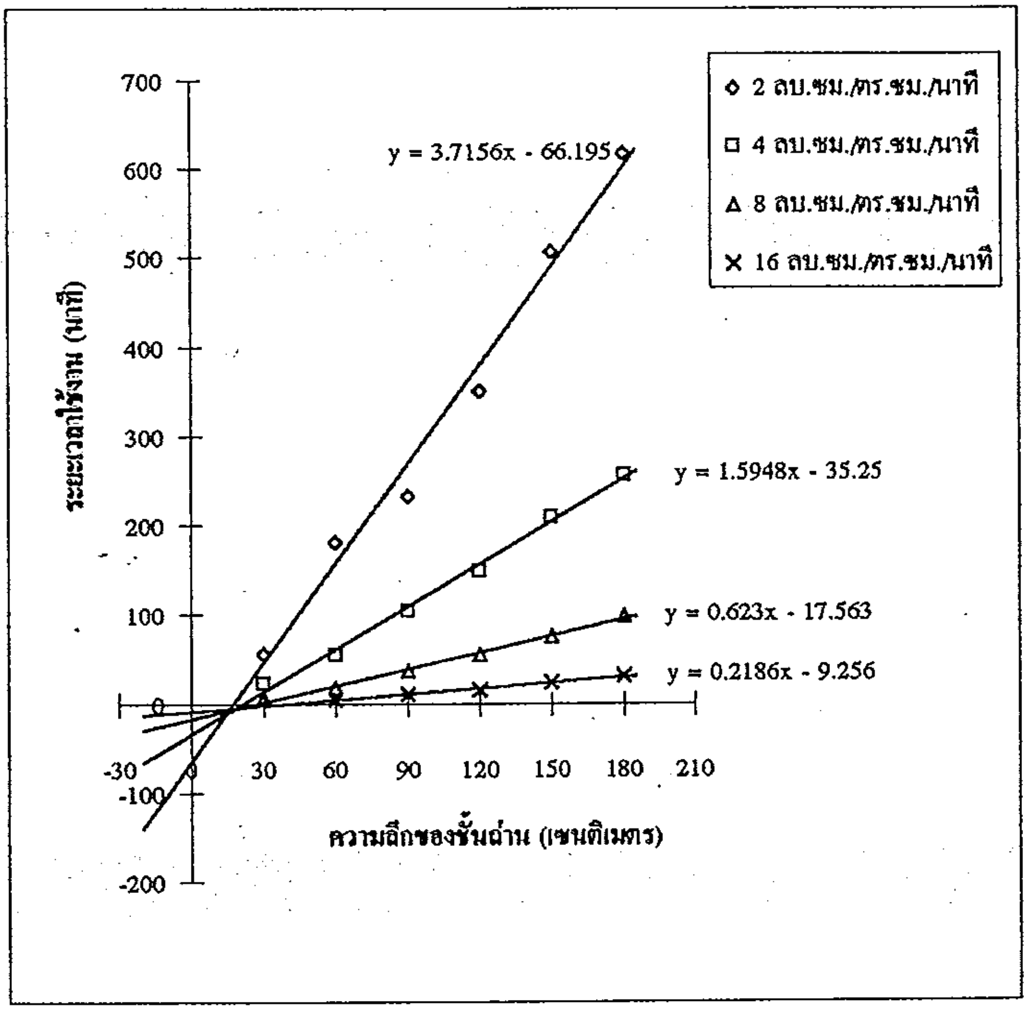
ภาพประกอบภาคผนวก ง3-1-2 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ผ่านการฟื้นสภาพ ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 2)



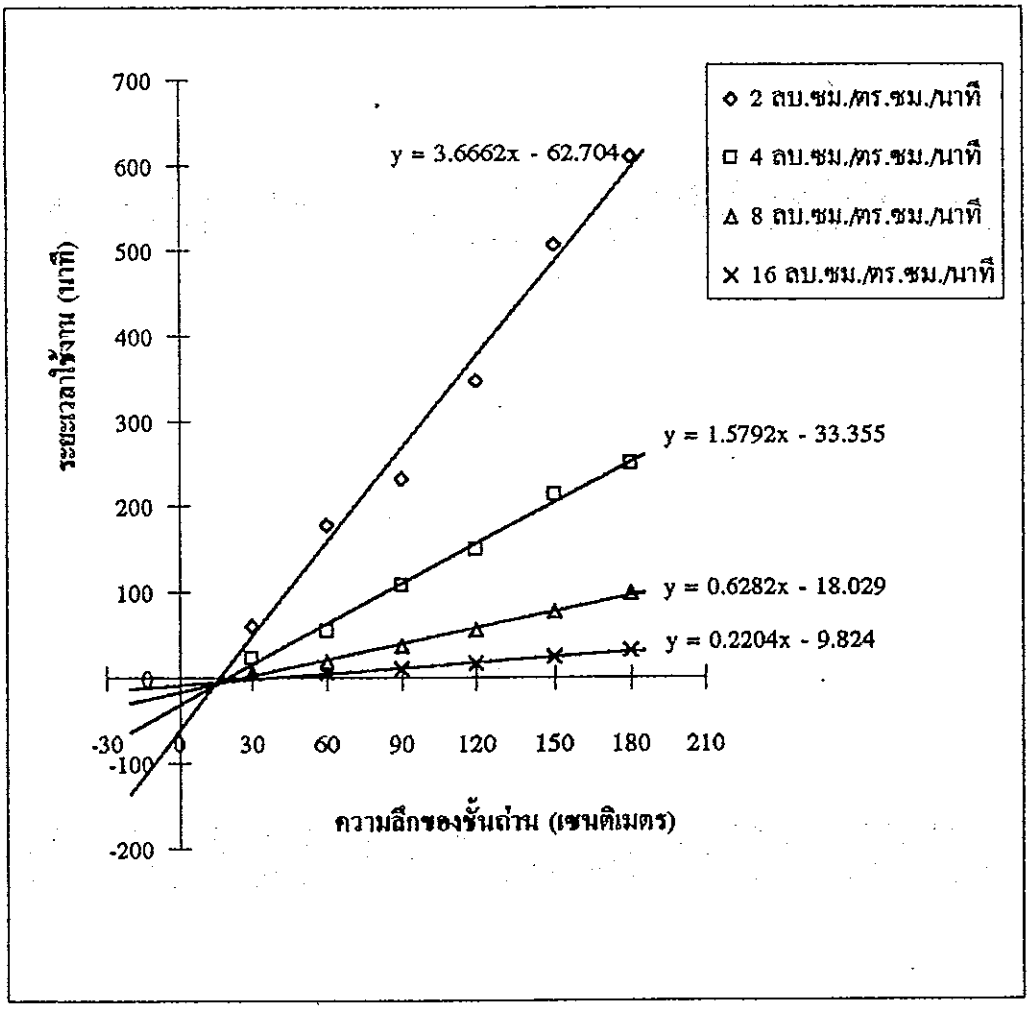
ภาพประกอบภาคผนวก ง3-1-3 กราฟเบรคทรูเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที (ซ้ำที่ 3)



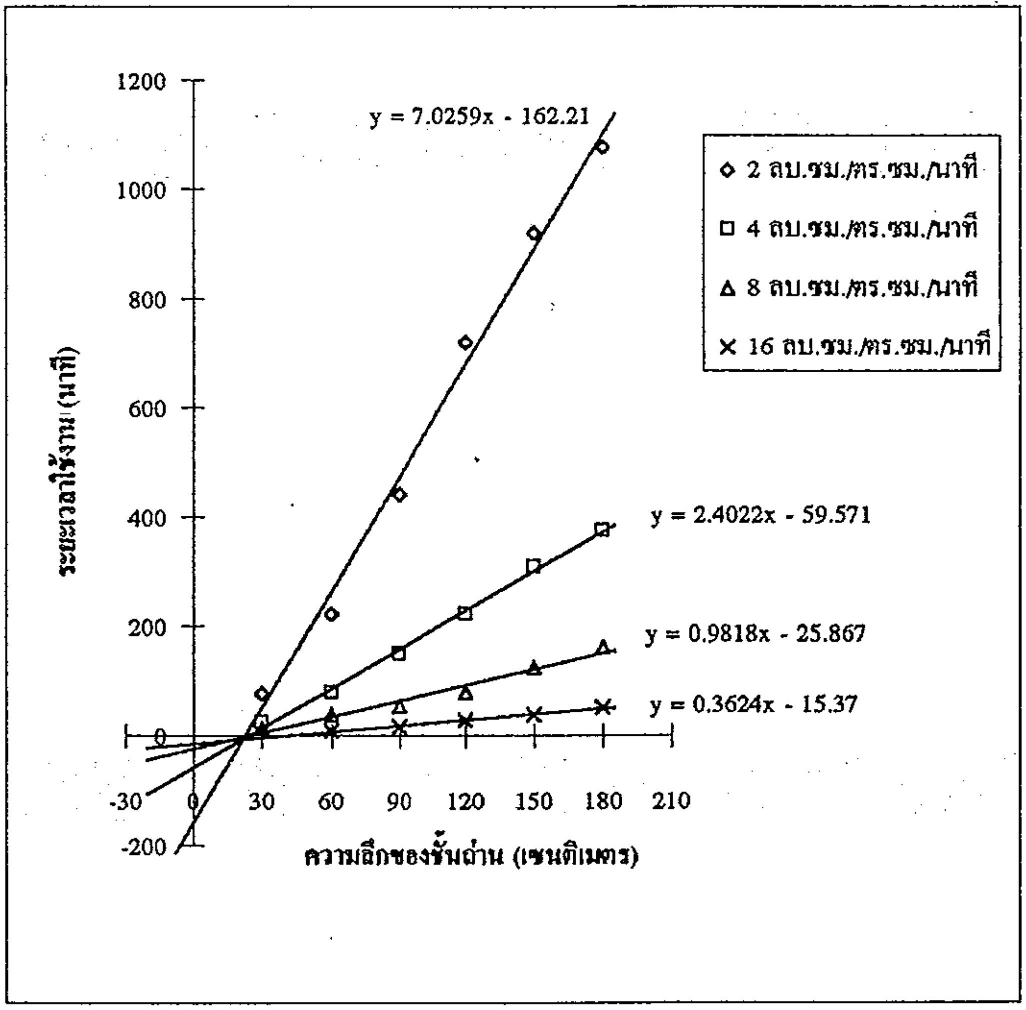
ภาพประกอบภาคผนวก ง4-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 1)



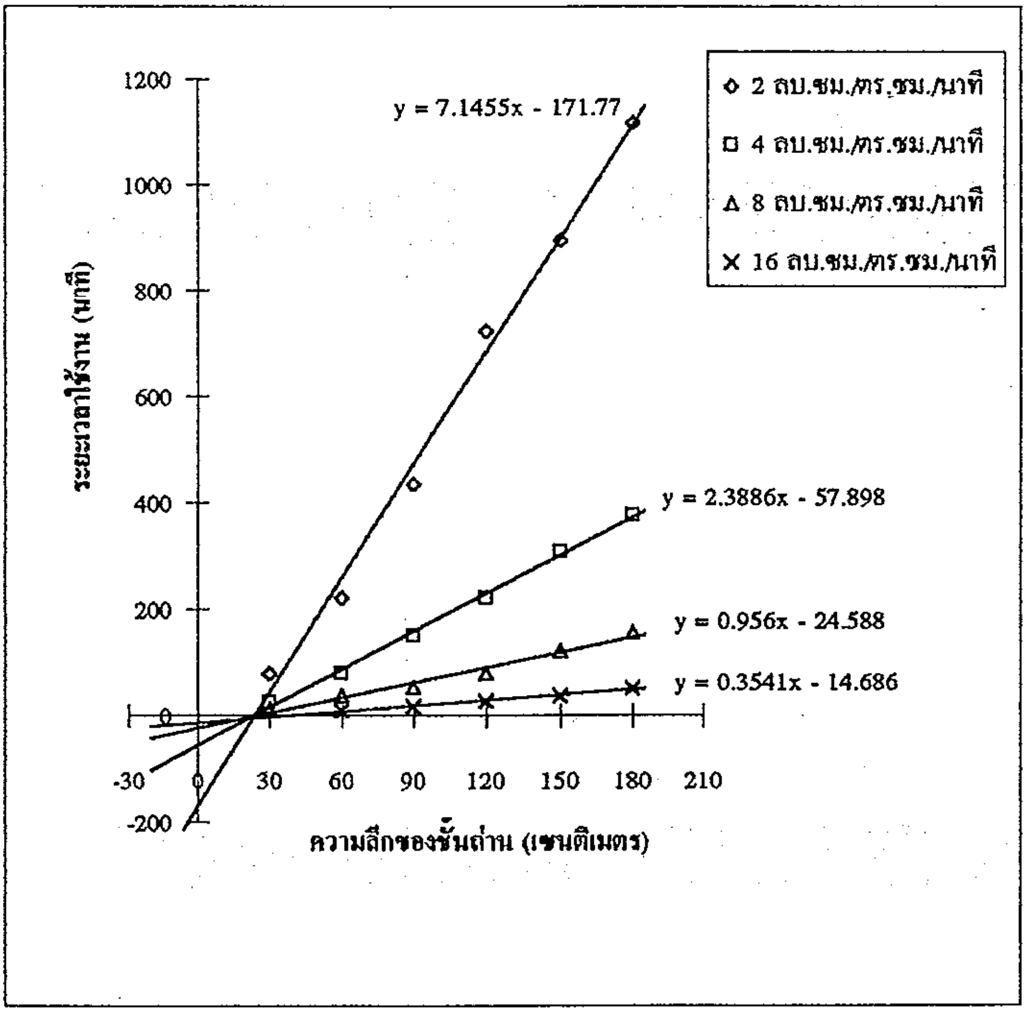
ภาพประกอบภาคผนวก ง4-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 2)



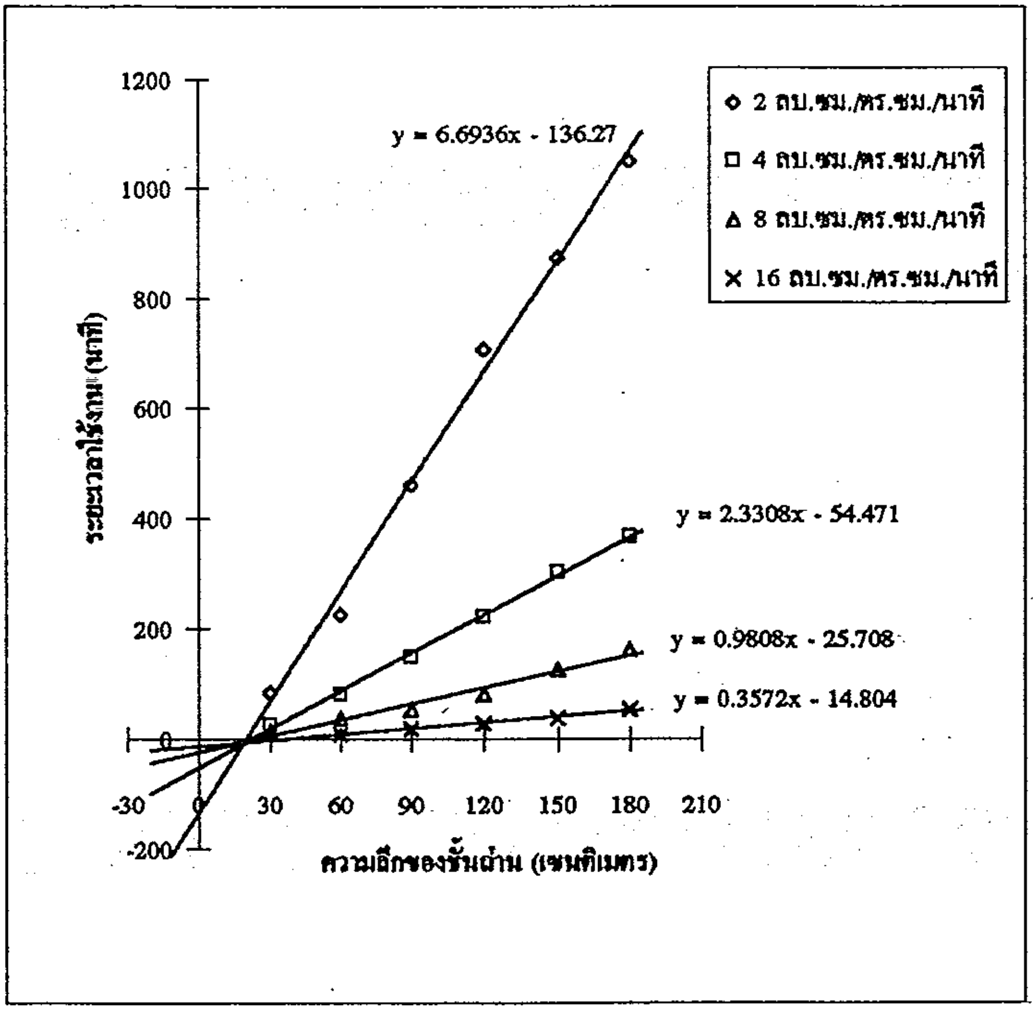
ภาพประกอบภาคผนวก ง4-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(D)* เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 3)



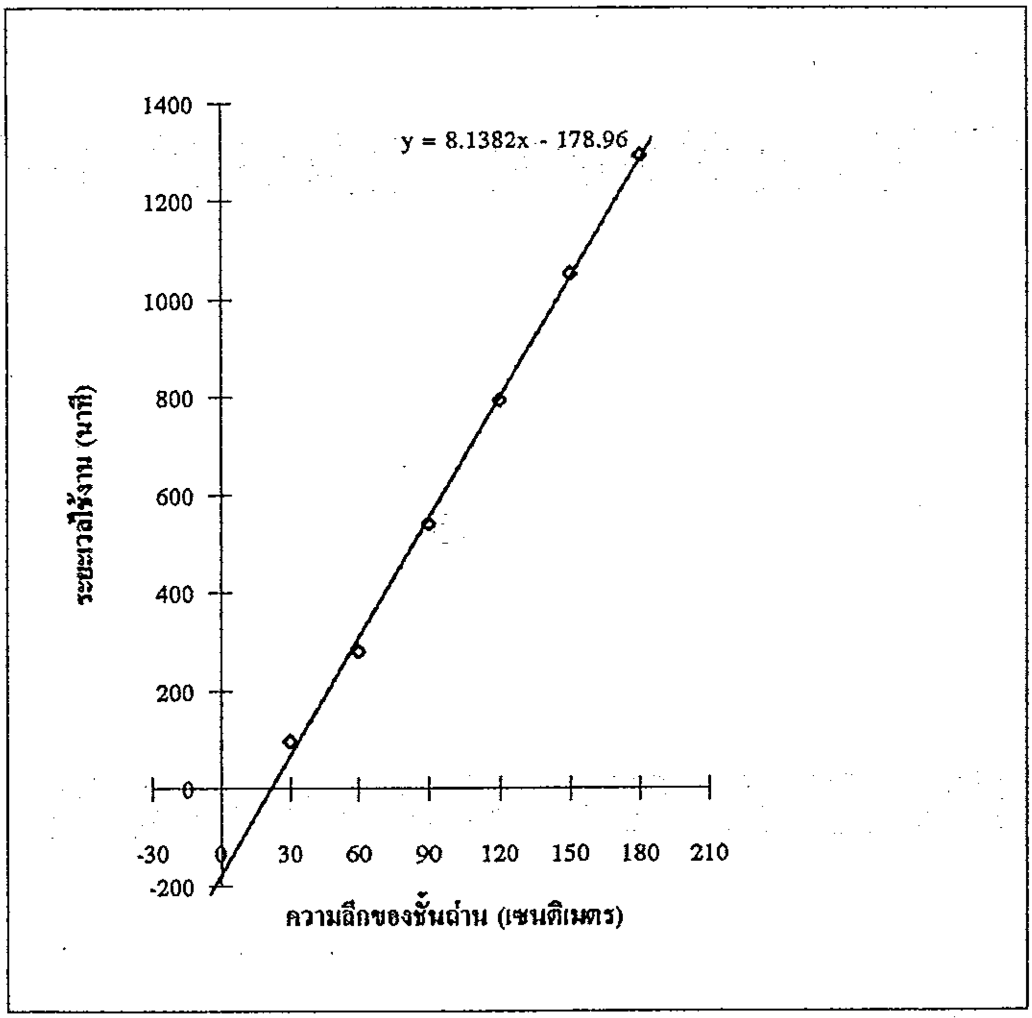
ภาพประกอบภาคผนวก ง5-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 1)



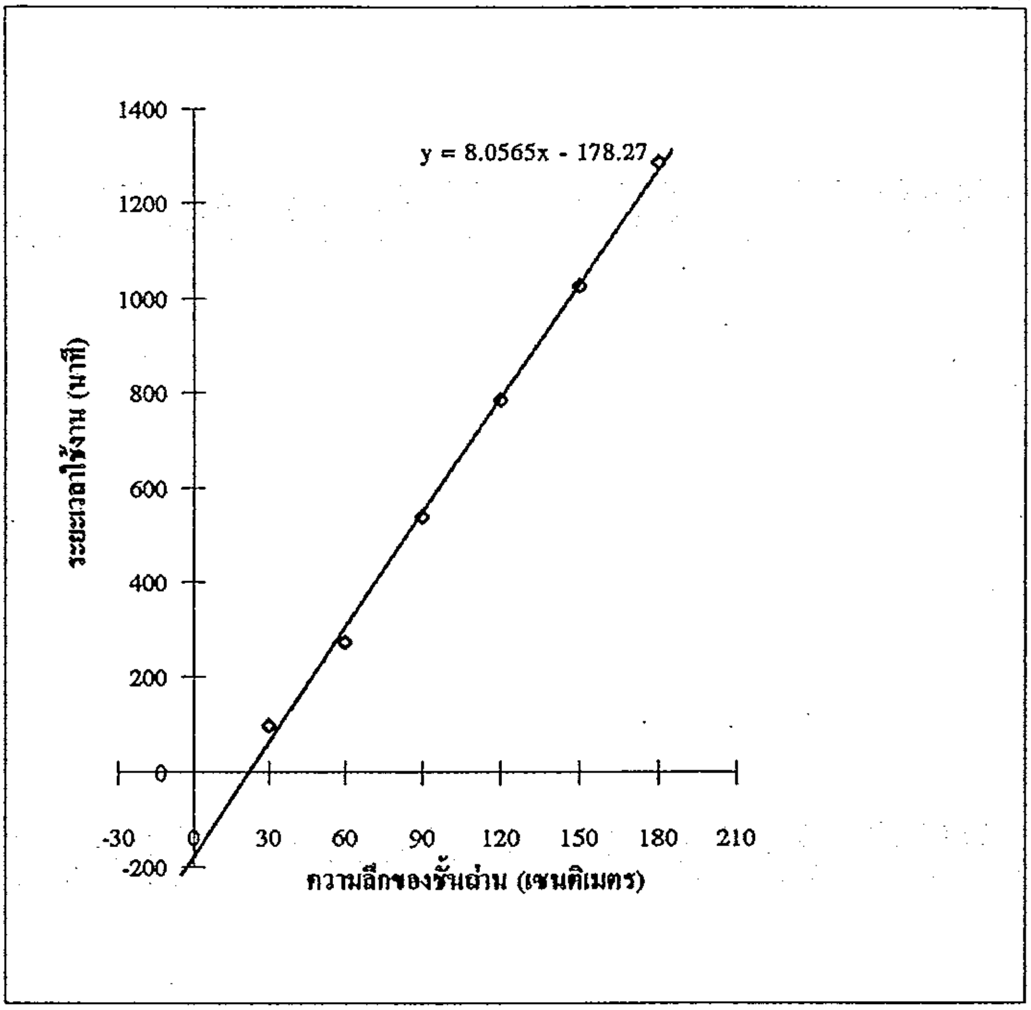
ภาพประกอบภาคผนวก ง5-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 2)



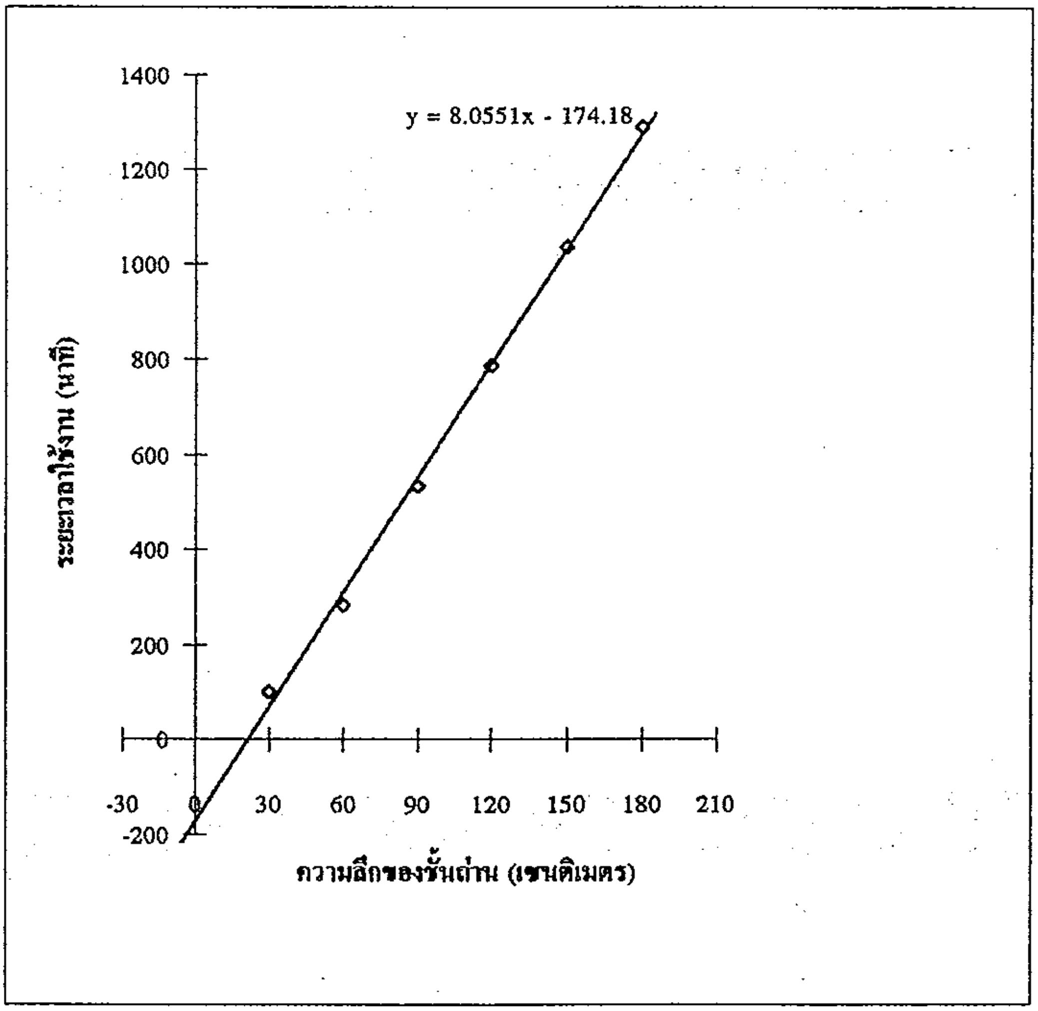
ภาพประกอบภาคผนวก ง5-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* เป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 3)



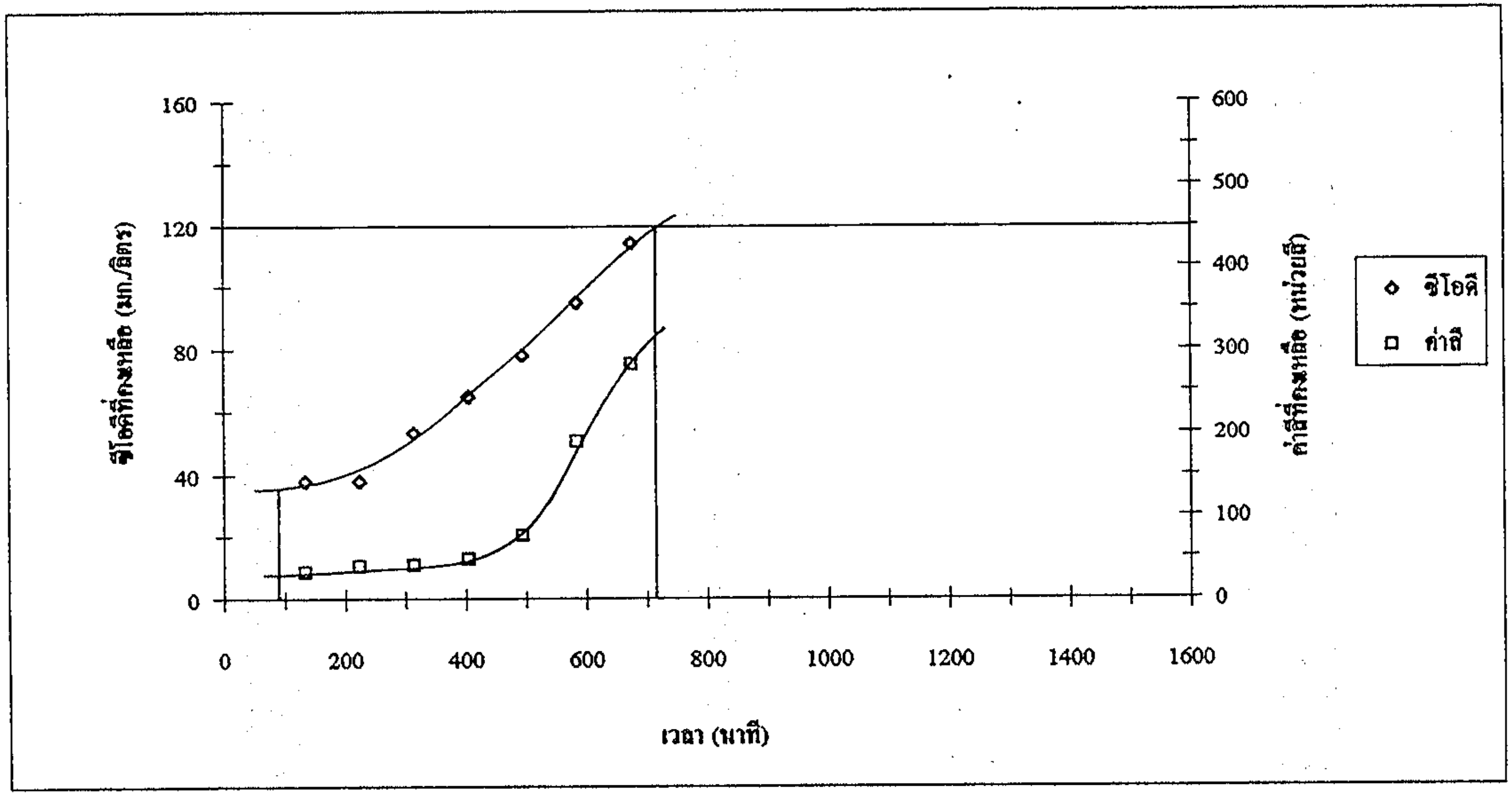
ภาพประกอบภาคผนวก ง6-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ผ่านการฟื้นสภาพเป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 1)



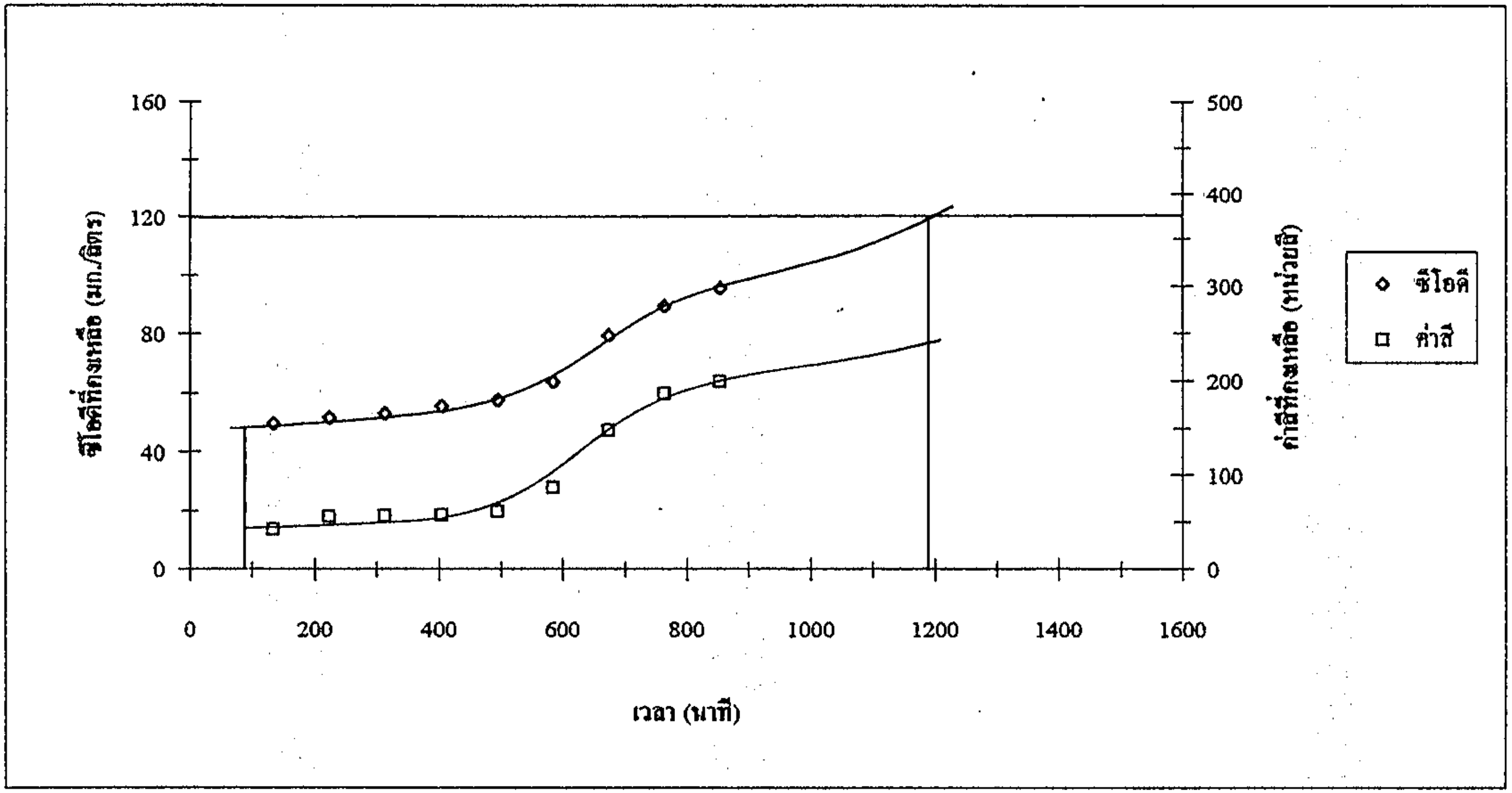
ภาพประกอบภาคผนวก ง6-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ผ่านการฟื้นสภาพเป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 2)



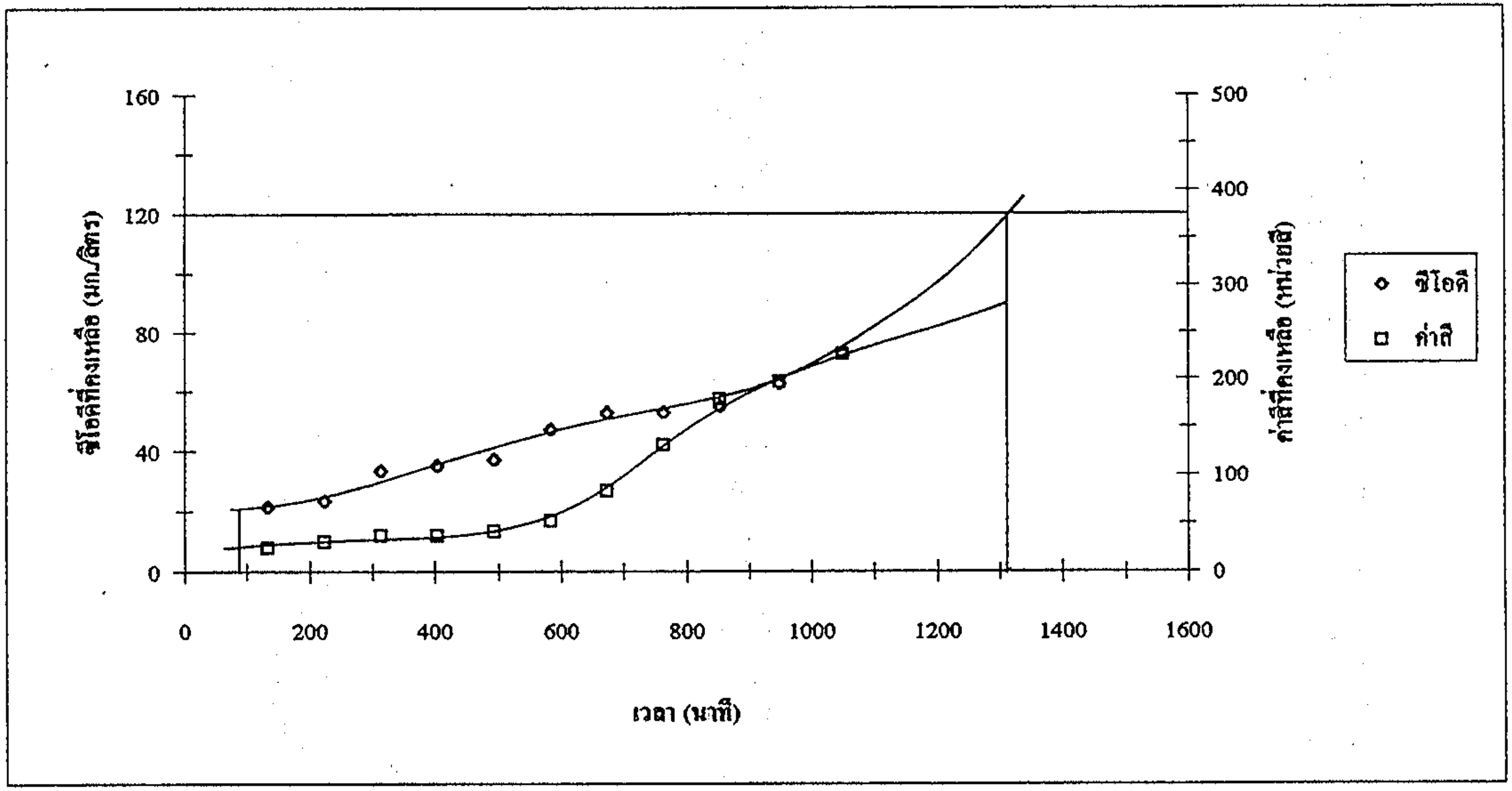
ภาพประกอบภาคผนวก ง6-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นถ่านกับระยะเวลาใช้งาน เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ผ่านการฟื้นสภาพเป็นสารดูดซับ (ซ้ำที่ 3)



ภาพประกอบภาคผนวก ง7-1 กราฟแสดงซีโอดีและค่าสีที่คงเหลือ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(D)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที



ภาพประกอบภาคผนวก ง7-2 กราฟแสดงซีโอดีและค่าสีที่คงเหลือ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที



ภาพประกอบภาคผนวก ง7-3 กราฟแสดงซีโอดีและค่าสีที่คงเหลือ เมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่ผ่านการฟื้นสภาพ ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที

ภาคผนวก จ

การคำนวณ

1. การคำนวณราคาถ่านกัมมันต์ *(D)* และ *(E)* สำหรับดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มปริมาตร 1 ลบ.ม. โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยใช้ชั้นถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่หน้าตัด 38.32 ตารางเซนติเมตร ความลึกของชั้นถ่าน 180 เซนติเมตร

<u>วิธีการ</u>

1) คำนวณระยะเวลาใช้งานโดยใช้สมการของ Adams และ Bohart

$$t = \frac{N_0 D}{C_0 v} - \frac{1}{KC_0} \ln \left[\left[\frac{C_0}{C_B} - 1 \right] \right]$$

เมื่อกำหนด C_0 = 290 มิลลิกรัม ซีโอดี / ลิตร

C_B = 120 มิลลิกรัม ซีโอดี / ลิตร

ตารางภาคผนวก ข1 ผลการคำนวณระยะเวลาใช้งานโดยใช้สมการของ Adams และ Bohart

ถ่านกัมมันต์	อัตราน้ำล้นผิว (ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที)	ระยะเวลาใช้งาน
(D)	2	607
	4	265
	8	100
	16	31
(E)	2	1049
	4	366
	8	151
	16	46

2) คำนวณปริมาตรน้ำที่ผ่านกระบวนการดูดซับ จนกระทั่งซีโอดีในน้ำที่ออกจากระบบมีค่า 120 มิลลิกรัม/ลิตร

เมื่อ ปริมาตรน้ำที่ผ่านกระบวนการดูดซับ = พื้นที่หน้าตัดของชั้นถ่าน x อัตราน้ำล้นผิว x ระยะเวลาใช้งาน

ตารางภาคผนวก ข2 ผลการคำนวณปริมาตรน้ำที่ผ่านกระบวนการดูดซับ

ถ่านกัมมันต์	อัตราน้ำล้นผิว (ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านกระบวนการดูดซับ (ลิตร)
(D)	2	47
	4	41
	8	31
	16	19
(E)	2	80
	4	56
	8	46
	16	28

3) มูลค่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้บรรจุในคอลลัมน์ของแบบจำลองเพื่อให้ได้ชั้นถ่านที่มีความสูง 180 เซนติเมตร

เมื่อ มูลค่าถ่านกัมมันต์ = ปริมาตรถ่าน x bulk density x ราคา

ดังนั้น มูลค่าถ่านกัมมันต์ *(D)* = $(38.32\ cm^2 \times 180\ cm)(4.75 \times 10^{-4}\ kg/cm^3)$ (60 ฿/kg)

= 196 ฿

มูลค่าถ่านกัมมันต์ *(E)* = $(38.32\ cm^2 \times 180\ cm)(2.80 \times 10^{-4}\ kg/cm^3)$ (50 ฿/kg)

= 96 ฿

4) มูลค่าถ่านกัมมันต์สำหรับดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 1 ลบ.ม.

ตารางภาคผนวก ง3 ผลการคำนวณมูลค่าถ่านกัมมันต์สำหรับดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 1 ลบ.ม.

ถ่านกัมมันต์	อัตราน้ำล้นผิว (ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที)	ข้อมูลจากการทดลอง		มูลค่าถ่านที่ใช้ (บาท/ลบ.ม.)
		ปริมาตรน้ำที่ได้ (ลิตร)	มูลค่าถ่านที่ใช้ (บาท)	
(D)	2	47	196	4,170
	4	41	196	4,780
	8	31	196	6,323
	16	19	196	10,316
(E)	2	80	96	1,200
	4	46	96	1,714
	8	46	96	2,087
	16	28	96	3,429

2. การคำนวณราคาถ่านกัมมันต์กรณีผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* และมีการฟื้นคุณภาพถ่านเพื่อนำมาใช้งานใหม่ 100 ครั้ง จนกระทั่งเหลือความลึกของชั้นถ่านเท่ากับความสูง

<u>วิธีการ</u>

1) คำนวณความลึกของชั้นถ่านที่สามารถฟื้นสภาพได้ถึง 100 ครั้ง จึงเหลือความลึกของชั้นถ่านเท่ากับความลึกวิกฤติ

จากสมการ $$D_{int} = D_0(1+r)^t$$

เมื่อ D_{int} คือ ความสูงเริ่มต้นของชั้นถ่านกัมมันต์ที่สามารถสามารถฟื้นสภาพได้ถึง 100 ครั้ง จึงเหลือความลึกของชั้นถ่านเท่ากับความลึกวิกฤติ

D_0 คือ ความลึกวิกฤติของชั้นถ่านมีค่าเท่ากับ 26.55 เซนติเมตร เมื่อน้ำที่เข้าสู่ชั้นถ่านมีค่าซีโอดี 290 มิลลิกรัม/ลิตร และเบรคพอยต์มีค่า 120 มิลลิกรัม/ลิตร

r คือ อัตราส่วนความสูงของชั้นถ่านที่ลดลงเนื่องจากการฟื้นสภาพแต่ละครั้งเท่ากับ 0.04

t คือ จำนวนครั้งที่ทำการฟื้นสภาพ เท่ากับ 100 ครั้ง

จากสมการ $D_{int} = D_0(1+r)^t$

$= (26.55 \text{ cm})(1+0.04)^{100}$

$= 1{,}289.25 \text{ cm}$

ดังนั้นเมื่อผ่านน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้น 290 มิลลิกรัม/ลิตร เข้าสู่ชั้นถ่านกัมมันต์ *(E)* ที่มีความลึกเริ่มต้น 1,289.25 เซนติเมตร จะสามารถฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์เพื่อนำมาใช้งานใหม่ได้ถึง 100 ครั้ง จึงเหลือความลึกของชั้นถ่านเท่ากับความลึกวิกฤติ และจากการแทนค่าลงในสมการของ Adams และ Bohart การใช้ถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพครั้งที่ 1-100 จะมีระยะเวลาการใช้งานดังต่อไปนี้

ตารางภาคผนวก ข4 ผลการคำนวณระยะเวลาใช้งานของถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพครั้งที่ 1-100

ครั้งที่	ความสูงของชั้นถ่าน (เซนติเมตร)	ระยะเวลาการใช้งาน (นาที)
0	1289.25	8557.94
1	1239.67	9462.41
2	1191.99	9090.50
3	1146.14	8732.90
4	1102.06	8389.06
5	1059.67	8058.44
6	1018.92	7740.53
7	979.73	7434.86
8	942.04	7140.94
9	905.81	6858.32
10	870.97	6586.57
11	837.47	6325.28
12	805.26	6074.03
13	774.29	5832.45
14	744.51	5600.16

ตารางภาคผนวก ง4 (ต่อ) ผลการคำนวณระยะเวลาใช้งานของถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพ ครั้งที่ 1-100

ครั้งที่	ความสูงของชั้นถ่าน (เซนติเมตร)	ระยะเวลาการใช้งาน (นาที)
15	715.88	5376.81
16	688.34	5162.04
17	661.87	4955.54
18	636.41	4756.98
19	611.93	4566.05
20	588.40	4382.47
21	565.77	4205.95
22	544.01	4036.22
23	523.08	3873.01
24	502.97	3716.09
25	483.62	3565.20
26	465.02	3420.11
27	447.13	3280.60
28	429.94	3146.46
29	413.40	3017.48
30	397.50	2893.46
31	382.21	2774.20
32	367.51	2659.54
33	353.38	2549.28
34	339.79	2443.27
35	326.72	2341.33
36	314.15	2243.32
37	302.07	2149.07
38	290.45	2058.45
39	279.28	1971.32
40	268.54	1887.53
41	258.21	1806.97
42	248.28	1729.51
43	238.73	1655.02

ตารางภาคผนวก ง4 (ต่อ) ผลการคำนวณระยะเวลาใช้งานของถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพครั้งที่ 1-100

ครั้งที่	ความสูงของชั้นถ่าน (เซนติเมตร)	ระยะเวลาการใช้งาน (นาที)
44	229.55	1583.40
45	220.72	1514.54
46	212.23	1448.32
47	204.07	1384.65
48	196.22	1323.43
49	188.67	1264.57
50	181.41	1207.96
51	174.44	1153.54
52	167.73	1101.21
53	161.28	1050.89
54	155.07	1002.51
55	149.11	955.98
56	143.37	911.25
57	137.86	868.24
58	132.56	826.88
59	127.46	787.11
60	122.56	748.87
61	117.84	712.11
62	113.31	676.75
63	108.95	642.76
64	104.76	610.07
65	100.73	578.64
66	96.86	548.42
67	93.13	519.37
68	89.55	491.43
69	86.11	464.56
70	82.80	438.73
71	79.61	413.89
72	76.55	390.01

ตารางภาคผนวก ข4 (ต่อ) ผลการคำนวณระยะเวลาใช้งานของถ่านกัมมันต์ที่ถูกฟื้นสภาพครั้งที่ 1-100

ครั้งที่	ความสูงของชั้นถ่าน (เซนติเมตร)	ระยะเวลาการใช้งาน (นาที)
73	73.60	367.04
74	70.77	344.96
75	68.05	323.73
76	65.43	303.31
77	62.92	283.68
78	60.50	264.81
79	58.17	246.66
80	55.93	229.21
81	53.78	212.43
82	51.71	196.29
83	49.72	180.78
84	47.81	165.86
85	45.97	151.51
86	44.20	137.72
87	42.50	124.46
88	40.87	111.71
89	39.30	99.45
90	37.79	87.66
91	36.33	76.32
92	34.94	65.42
93	33.59	54.94
95	32.30	44.86
96	31.06	35.17
97	29.86	25.86
98	28.71	16.90
99	27.61	8.28
100	26.55	0.00
รวม		234,286.77

หากชั้นถ่านกัมมันต์พื้นที่หน้าตัดมีพื้นที่หน้าตัด A ตารางเซนติเมตร

มูลค่าถ่านกัมมันต์ = ความลึกของชั้นถ่าน x พื้นที่หน้าตัด x bulk density x ราคา

มูลค่าถ่านกัมมันต์ *(E)* = $(1,289.25 \text{ cm} \times A \text{ cm}^2)(2.80 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^3)(50 \text{ ฿/kg})$

= 18.05A ฿

น้ำที่ผ่านชั้นถ่านตลอดระยะเวลาการใช้งาน 234,286.77 นาที

= อัตราน้ำล้นผิว x ระยะเวลาการใช้งาน x พื้นที่หน้าตัด

= $(2 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{min})(234,286.77 \text{ min})(A \text{ cm}^2)(\text{m}^3/10^6 \text{ cm}^3)$

= 0.4686 A m^3

ดังนั้น มูลค่าถ่านกัมมันต์ *(E)* สำหรับดูดซับซีโอดีในน้ำทิ้ง 1 ลูกบาศก์เมตร

= $(18.05\text{A ฿})/(0.4686 \text{ A m}^3)$

= 38.52 ฿/m^3

3 การคำนวณสำหรับการออกแบบระบบดูดซับในชั้นตรึง

1) คำนวณพื้นที่หน้าตัดของชั้นถ่านกัมมันต์

พื้นที่หน้าตัดของชั้นถ่านกัมมันต์

= อัตราการไหลของน้ำ / อัตราน้ำล้นผิว

= [(220 ตันทะลายปาล์มสด/วัน)(1.18 ลบ.ม./ตันทะลายปาล์มสด) / (2 ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที)(1 ลบ.ม./10^6 ลบ.ซม.)(10^4 ตร.ซม./1 ตร.ม.)(60 นาที/ชั่วโมง)(24 ชั่วโมง/วัน)]

= 9.01 ตร.ม.

2) คำนวณเส้นผ่าศูนย์กลางชั้นถ่านกัมมันต์

2.1) เส้นผ่าศูนย์กลางของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 1 ชั้น

= $\sqrt{(\text{พื้นที่หน้าตัด} \times 4)/\pi}$

= $\sqrt{(9.01 \text{ ตร.ม.} \times 4) / (22/7)}$

= 3.39 เมตร

2.2) เส้นผ่าศูนย์กลางของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 2 ชั้น เรียงแบบขนาน

= $\sqrt{((9.01 \text{ ตร.ม. } \times 4)/2) / (22/7)}$

= 2.39 เมตร

2.3) เส้นผ่าศูนย์กลางของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 3 ชั้น เรียงแบบขนาน

= $\sqrt{((9.01 \text{ ตร.ม. } \times 4)/3) / (22/7)}$

= 1.95 เมตร

2.4) เส้นผ่าศูนย์กลางของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 4 ชั้น เรียงแบบขนาน

= $\sqrt{((9.01 \text{ ตร.ม. } \times 4)/4) / (22/7)}$

= 1.69 เมตร

2.5) เส้นผ่าศูนย์กลางของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 5 ชั้น เรียงแบบขนาน

= $\sqrt{((9.01 \text{ ตร.ม. } \times 4)/5) / (22/7)}$

= 1.51 เมตร

2.6) เส้นผ่าศูนย์กลางของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 6 ชั้น เรียงแบบขนาน

= $\sqrt{((9.01 \text{ ตร.ม. } \times 4)/6) / (22/7)}$

= 1.38 เมตร

2.7) เส้นผ่าศูนย์กลางของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 7 ชั้น เรียงแบบขนาน

= $\sqrt{((9.01 \text{ ตร.ม. } \times 4)/7) / (22/7)}$

= 1.28 เมตร

2.8) เส้นผ่าศูนย์กลางของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 8 ชั้น เรียงแบบขนาน

= $\sqrt{((9.01 \text{ ตร.ม. } \times 4)/8) / (22/7)}$

= 1.20 เมตร

2.9) เส้นผ่าศูนย์กลางของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 9 ชั้น เรียงแบบขนาน

= $\sqrt{((9.01 \text{ ตร.ม. } \times 4)/9) / (22/7)}$

= 1.13 เมตร

3) คำนวณความสูงและอายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์

3.1) ความสูงและอายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 1 ชั้น

ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ > 4 x เส้นผ่าศูนย์กลางพื้นที่หน้าตัด

> 4 x 3.39 เมตร

> 13.55 เมตร

จากสมการ

$$t = \frac{N_0 D}{C_0 v} - \frac{1}{KC_0}\left[\ln\left[\frac{C_0}{C_B} - 1\right]\right]$$

อายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์

$$> \frac{(4{,}524.04 \text{ มก./ล.})(D \text{ ซม.})}{(290 \text{ มก./ล.})(2 \text{ ลบ.ซม./ตร.ซม./นาที})} - \frac{\ln(((290 \text{ มก./ล.}) / (120 \text{ มก./ล.}))-1)}{(0.0058 \times 10^{-3} \text{ มก./ล./นาที})(290 \text{ มก./ล.})}$$

> (7.80 x D นาที) - (207.08 นาที)

> (7.80 x 1,356 นาที) - (207.08 นาที)

> 10,370 นาที (1 ชั่วโมง / 60 นาที)

> 172.83 ชั่งโมง (1 วัน / 24 ชั่วโมง)

> 7.20 วัน

3.2) ความสูงและอายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 2 ชั้น เรียงแบบขนาน

ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ > 4 x 2.39 เมตร

> 9.56 เมตร

อายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์ > (7.80 x 956 นาที) - (207.08 นาที)

> 7,250 นาที (1 ชั่วโมง / 60 นาที)

> 120.83 ชั่งโมง (1 วัน / 24 ชั่วโมง)

> 5.03 วัน

3.3) ความสูงและอายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 3 ชั้น เรียงแบบขนาน

ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ > 4 x 1.95 เมตร

> 7.80 เมตร

อายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์ > (7.80 x 780 นาที) - (207.08 นาที)

> 5,877 นาที (1 ชั่วโมง / 60 นาที)

> 97.95 ชั่งโมง (1 วัน / 24 ชั่วโมง)

> 4.08 วัน

3.4) ความสูงและอายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 4 ชั้น เรียงแบบขนาน

ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ > 4 x 1.69 เมตร

> 6.76 เมตร

อายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์ > (7.80 x676 นาที) - (207.08 นาที)

> 5,066 นาที (1 ชั่วโมง / 60 นาที)

> 84.43 ชั่งโมง (1 วัน / 24 ชั่วโมง)

> 3.52 วัน

3.5) ความสูงและอายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 5 ชั้น เรียงแบบขนาน

ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ > 4 x 1.51 เมตร

> 6.04 เมตร

อายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์ > (7.80 x 605 นาที) - (207.08 นาที)

> 4,512 นาที (1 ชั่วโมง / 60 นาที)

> 75.2 ชั่งโมง (1 วัน / 24 ชั่วโมง)

> 3.13 วัน

3.6) ความสูงและอายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 6 ชั้น เรียงแบบขนาน

ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ > 4 x 1.38 เมตร

> 5.52 เมตร

อายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์ > (7.80 x 552 นาที) - (207.08 นาที)

> 4,098.52 นาที (1 ชั่วโมง / 60 นาที)

> 68.3 ชั่งโมง (1 วัน / 24 ชั่วโมง)

> 2.85 วัน

3.7) ความสูงและอายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 7 ชั้น เรียงแบบขนาน

ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์	>	4 x 1.28 เมตร
	>	5.12 เมตร
อายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์	>	(7.80 x 512 นาที) - (207.08 นาที)
	>	3,787 นาที (1 ชั่วโมง / 60 นาที)
	>	63.12 ชั่งโมง (1 วัน / 24 ชั่วโมง)
	>	2.63 วัน

3.8) ความสูงและอายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 8 ชั้น เรียงแบบขนาน

ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์	>	4 x 1.20 เมตร
	>	4.80 เมตร
อายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์	>	(7.80 x 480 นาที) - (207.08 นาที)
	>	3,537 นาที (1 ชั่วโมง / 60 นาที)
	>	58.95 ชั่งโมง (1 วัน / 24 ชั่วโมง)
	>	2.46 วัน

3.9) ความสูงและอายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์กรณีมีชั้นถ่าน 9 ชั้น เรียงแบบขนาน

ความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์	>	4 x 1.13 เมตร
	>	4.52 เมตร
อายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์	>	(7.80 x 479 นาที) - (207.08 นาที)
	>	3,319 นาที (1 ชั่วโมง / 60 นาที)
	>	55.32 ชั่งโมง (1 วัน / 24 ชั่วโมง)
	>	2.30 วัน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวจินตนา แก้วบริสุทธิ์

วัน เดือน ปีเกิด 3 ธันวาคม 2515

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร)	คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (วิทยาเขตหาดใหญ่)	พ.ศ. 2536

ทุนการศึกษาที่ได้รับระหว่างการศึกษา

ทุนการศึกษาของมูลนิธิสิ่งแวดล้อมเพื่อชีวิต